



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO A DETALLE DE UNA MESA DE
QUIRÓFANO UNIVERSAL**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECATRÓNICO

P R E S E N T A:

MAURICIO CRUZ SALDÍVAR



**DIRECTOR DE TESIS:
DR. JESÚS MANUEL DORADOR GONZÁLEZ
2015**

AGRADECIMIENTOS:

Quiero aprovechar esta sección para agradecer a las personas las cuales con su ayuda fue posible lograr la elaboración de este documento.

En especial, quiero agradecer al Dr. Jesús Manuel Dorador González, director de este documento, por su ayuda, orientación, seguimiento y apoyo, además de ayudarme a encontrar vocación dentro del área de diseño de equipos médicos.

También quiero agradecer a mis amigos, por escuchar, compartir, festejar y trabajar durante todos estos años de crecimiento y estudio, en especial a los que estuvieron ahí y me apoyaron durante los momentos más difíciles de mi formación tanto académica como personal.

Quiero extender mi gratitud a mis compañeros y amigos del proyecto estudiantil Formula SAE, por convertirse en mi segunda familia, con quienes aprendí infinidad de cosas a las buenas y a las malas, además de demostrar que con trabajo en equipo y pasión por lo que haces se pueden realizar proyectos que pongan en alto el orgullo de tu institución y país.

También quiero dejar en claro la incomparable gratitud que tengo con mi familia, en especial a mi madre, quien me dio todo en la vida, quien me educó y formó para poder llegar a este punto de mi carrera a pesar de infinidad de retos y dificultades, por demostrarme que con talento, mucho trabajo duro y en especial con mucho amor se puede lograr lo que sea.

Este proyecto fue realizado con la ayuda del proyecto PAPIME PE102915.

*“Es mejor prender una vela que
maldecir la oscuridad”.*

- Confucio

ÍNDICE:

I.	Introducción.	5
II.	Estadísticas nacionales sobre quirófanos.	6
III.	Estudio de mercado.	8
IV.	Reglamentos existentes sobre mesas quirúrgicas.	26
V.	Conceptos teóricos sobre mesas quirúrgicas.	29
VI.	Objetivo, concepto de producto, requerimientos y necesidades.	33
VII.	Procedimiento propuesto de diseño.	34
VIII.	División de sistemas en base a función.	35
IX.	Propuestas de soluciones por sistema.	36
X.	Diseño mecánico principal.	41
XI.	Análisis de cargas.	61
XII.	Diseño mecánico de accesorios.	87
XIII.	Trabajo a futuro y conclusiones.	96
XIV.	Referencias.	98
XV.	Anexo.	99

I. INTRODUCCIÓN

Las condiciones nacionales en tema de salud en nuestro país son complicadas, en el caso pertinente de ingeniería prácticamente no existe diseño nacional de equipo médico básico, especialmente de quirófano, además de que el panorama actual donde las condiciones en los servicios hospitalarios requieren aumento de equipo e infraestructura de carácter urgente.

Tomando en cuenta ambos puntos mencionados, es fácil de llegar a la conclusión en que una forma para dar solución al problema de infraestructura es crear nuestra propia tecnología en servicios para la salud.

Una mesa de quirófano universal es un elemento de la sala de quirófano la cual permite colocar al paciente en un gran rango de posiciones, además de ser capaz de colocar distintos accesorios no invasivos que ayudan al equipo de cirugía en un amplia gama de intervenciones; esto representa un reto de ingeniería en muchas áreas, incluyendo retos eléctricos, mecánicos, ergonómicos e higiénicos entre otros.

Este documento muestra cómo se logró llevar a cabo la metodología de diseño, conceptualización y diseño a detalle mecánico de una mesa de quirófano universal, todo esto partiendo de un estudio de mercado de mesas existentes, normativas nacionales para equipo médico y antropometría, incluyendo al final validación a nivel virtual de las partes mecánicas que la componen.

II. ESTADÍSTICAS NACIONALES SOBRE QUIRÓFANOS

Según censo del 2010 del INEGI, en el sector público, el 44% de los hospitales del país contaban con 30 camas disponibles para poder internar pacientes. El 22% de los hospitales tienen de 30 a 59 camas; el 17.3% tiene 60 a 119 camas; el 8.3% tiene de 120 a 179 camas y por último, el 8.3% tiene más de 180 camas. Con un total de 6,693 camas en todo el país.

El personal médico en el país, capacitado para realizar intervenciones quirúrgicas, es de 312,581 personas. Se cuenta con 3.2 quirófanos en instituciones de salud pública por cada cien mil habitantes, tomando en cuenta que la población nacional es de 122 millones de personas, tenemos 3,904 salas de quirófano para el sector público en todo el país. El número de intervenciones quirúrgicas realizadas anualmente es de 31.8 por cada mil habitantes, si contamos 252 días hábiles anuales, la productividad es de 3.94 intervenciones por día en cada hospital de sector público.

Según el Sistema de Salud de México (Vol. 53(2):220-232)¹, para 2007 existen 23,858 unidades de atención médica en todo el país, de las cuales 4,354 hospitales y el resto de estas son unidades de atención ambulatoria acreditadas.

Por lo contrario, el sector privado de servicios hospitalarios, que atiende al 30% de la población, reportó que cuentan con 4,872 salas de quirófano totalmente equipadas, esto significa que el sector público que atiende a cerca del 70% de la población tiene el 63.5% de la capacidad que tiene el sector privado para realizar intervenciones quirúrgicas.²

En noticieros que exponen carencias en el sector salud de provincia, se informa sobre los serios cambios que necesita el IMSS en su infraestructura, desde la actualización del equipo médico, hasta la necesidad desesperada por la creación de hospitales nuevos para poder atender a la creciente población del país.

En el periódico "Zócalo" de Coahuila, el reportero Jesús Jiménez escribe el 6 de mayo de 2014: "Olvida el IMSS a Coahuila; infraestructura se hace vieja" y expone claramente cómo es que dentro del país, tanto en provincia como en la capital, se necesita urgentemente la construcción y mejora de equipo médico básico para poder dar servicio a la población.

"Hemos crecido en consulta externa, pero no en atención de segundo nivel, requerimos nuevos hospitales para responder a una demanda creciente en forma permanente, porque atendemos demasiados partos y cirugías, y no nos damos abasto, y basta con ver los servicios de urgencia atiborrados y convertidos en verdaderos 'cuellos de botella' para darse una idea del tamaño del problema, que por supuesto genera insatisfacción de

¹ Sistema de Salud de México, (2011). "Salud Pública Méx 2011; Vol. 53(2):220-232". Recursos. (http://bvs.insp.mx/rsp/articulos/articulo_e4.php?id=002625)

² Tomado de "Perspectiva estadística México 2011", INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA, pág. 35-37.

derechohabientes y constantes quejas sobre el servicio”³, palabras del Doctor Marco Antonio Fuentes López, expuestas en la noticia anteriormente citada. También se habla de cómo se trató de solucionar este problema aumentando el personal que tiene el IMSS en sus hospitales, pero esta solución ha significado un aumento del problema pues no se tiene la infraestructura para atender a la misma cantidad de pacientes, y se tiene menor presupuesto pues este se gasta en los salarios de los trabajadores.

Adicionalmente, Chiapas pareciera ser el estado donde la situación es más crítica, puesto que los hospitales están saturados pues se requiere intervenir a seis personas diariamente y solamente hay infraestructura para intervenir a dos. Las razones por las que esto ocurre son por la falta de equipo en los hospitales, que el equipo es viejo, y que el aumento en la población ha cambiado la demanda de hospitales pues éstos tienen más de 50 años.⁴

³Tomado del artículo: “Olvida IMSS a Coahuila; infraestructura se hace ‘vieja””, de Jesús Jiménez, periódico el Zócalo. Liga: <http://www.zocalo.com.mx/seccion/articulo/olvida-imss-a-coahuila-infraestructura-se-hace-vieja-1399361461>

⁴ Tomado del artículo: “Crisis hospitalaria”, de Fátima Monterrosa, Noticieros Televisa. Liga: <http://noticierostelevisa.esmas.com/especiales/586015/crisis-hospitalaria/>

III. ESTUDIO DE MERCADO

Mercado Nacional:

Actualmente, en el mercado nacional, solamente existen empresas que se dedican a comercializar equipo médico básico de origen extranjero.

En cuanto a la comercialización de mesas para quirófano, existen muchas empresas que se dedican únicamente a la importación, distribución y venta de mesas fabricadas tanto en Estados Unidos como en Europa, principalmente alemanas. Por ejemplo: GIM, Roshu, Médica Motolinía, Medtro, donde la mayor parte de las mesas que se venden en México son de las marcas MAQUET (EE.UU.), y SCHMITZ (Alemania). Esto provoca que el costo de una mesa nueva de quirófano sea de hasta sesenta mil dólares.

Existen también algunas empresas que se dedican a comprar mesas quirúrgicas usadas o viejas y las reparan para venderlas a precios altos, aproximadamente a cien mil pesos. Algunas de estas empresas son: Medi-Lab, RediMedic, DEMESA.

Mercado Internacional:

Como ya se mencionó, en el mercado internacional, el diseño de mesas de quirófano se encuentra en buena medida por parte de la empresa MAQUET de origen Americana y de la empresa SCHMITZ de origen Alemán. Ambas mesas son de alta calidad pues tienen una vida media de 20 años antes de que lleguen a tener que repararlas las empresas nacionales, pero para ordenar este tipo de mesas uno se debe de enfrentar a largos procesos y costos de importación y envío de equipo, lo cual generalmente absorben las comercializadoras mexicanas.

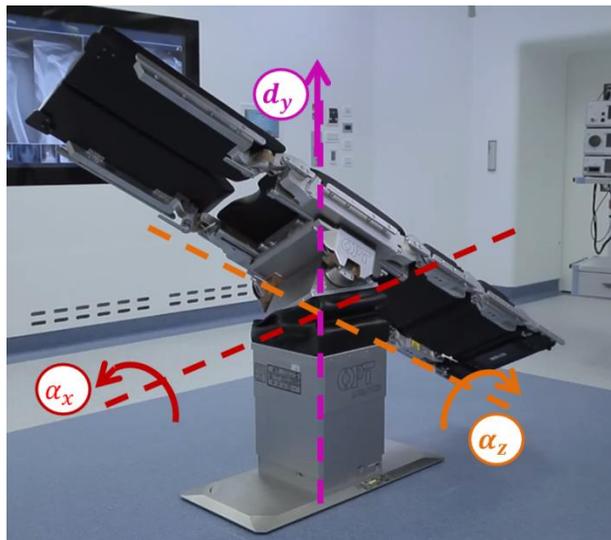
Todo esto lleva a la conclusión del porque existe una gran necesidad de abrir el mercado nacional al desarrollo y diseño del equipo médico de cirugías más básico, pues una mesa de operación es indispensable, además de que si es desarrollada en nuestro país sería más accesible y podrá estar mejor diseñada para las condiciones en las cuales se opera dentro de los hospitales nacionales, especialmente en los del sector público que tanto necesita este equipo.

A continuación analizamos once diferentes mesas de quirófano existentes en el mercado internacional:

1. OPT Vanto Surgery Table®:

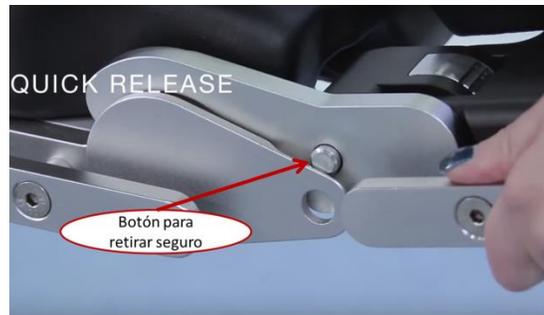


- Pedestal con junta rotacional de tres grados de libertad. (Ver Figura 1).

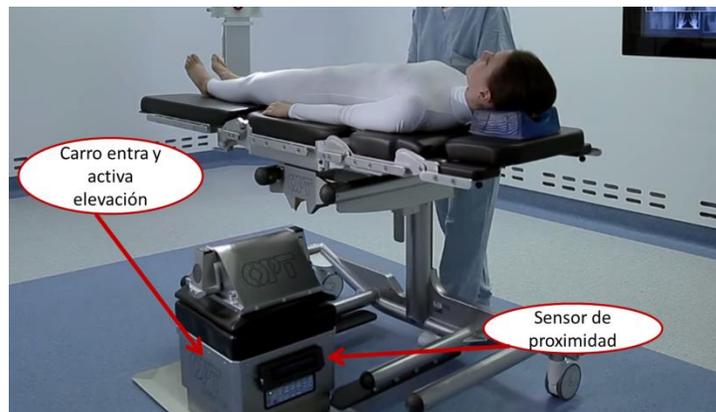


(Figura 0: Grados de libertad de pedestal de mesa operatoria VANTO®)

- 2 Grados de libertad en placa de pies.
- Grado de libertad en placas cadera- extensión cadera.
- Grado de libertad en placas espalda- cabeza (No es eléctrico).
- No tiene grado de libertad en placa Extensión cadera- espalda.
- Modular
 - o Cada placa puede ser separada con un clic. (Ver Figura 1).
 - o Un carro transporta la mesa al pedestal, este detecta la entrada del carro y activa el sistema hidráulico, levantando y asegurando la mesa.
 - o El carro es puramente mecánico, es decir, no es impulsado por elementos eléctricos o hidráulicos. (Ver Figura 2).



(Figura 1: Muestra de mecanismo modular de mesa operatoria VANTO®)



(Figura 2: Muestra de mecanismo modular de mesa operatoria VANTO®)

- Presume de tener traslación completa, pero está solo presente en la placa de cadera. (47.5 cm).
- Altura mínima de 60 cm, máxima de 1.1m.
- Puede soportar hasta 350 kg en posición original.
- $\pm 55^\circ$ desde vista lateral en cople de pedestal (0° a las 12:00).
- Placa de piernas $\pm 90^\circ$ desde lateral (0° a las 12:00).
- Placa de piernas $+90^\circ$, -50° desde lateral (0° a las 9:00).
- Placa cadera- extensión cadera $+90^\circ$, -50° (0° marcado a las 3:00).
- Memoria, control con 18 posiciones, pantalla de control angular.
- Tiene una fase de limpieza.
- Única en el mercado con dos carros, una para entrada lateral y otro para frontal.
- Placas base universales en dos versiones: una normal y una ligera.
- Tiene un módulo especial para procesos que requieran radio transparencia, hecha de fibra de carbono, y permanece en voladizo.
- Al parecer no se encuentra en México.
- Hipoalergénico, inoxidable, antiestático, y ergonómico, de fácil esterilización.

2. DIAMOND (Schmitz U. Söhne GmbH & Co. kG) Operating Table®:



- Mismos tres grados de libertad electrónicos que VANTO en pedestal.
- No hay display en el pedestal, tiene un control remoto con posiciones predefinidas.
- Control remoto se encuentra conectado a la mesa, este puede desenchufarse.
- El carro de 4 ruedas se encuentra integrado al pedestal.
- El carro es más largo en un lado, muy probablemente para cuando el paciente y los módulos de placas se encuentran en voladizo.
- El control no posee posiciones predefinidas.
- Existe un control para los pies con display (muy pequeño).
- Módulo radiotransparente existente.
- Módulos de placas pueden ser unidos con un mismo colchón.
- Colchón y placa se unen con lo que parece un adhesivo reusable viscoso (una combinación al velcro, pero liso y color verdoso).
- Placas tienen grados de libertad en cada módulo, pero solo los de piernas y espalda son controlables eléctricamente.
- Estructura de acero inoxidable, colchón hipoalérgico, impermeable, antiestático.
- Módulos adicionales de colchones permiten posiciones especiales (Ver Figura 3) (Se adhieren directamente al colchón principal).

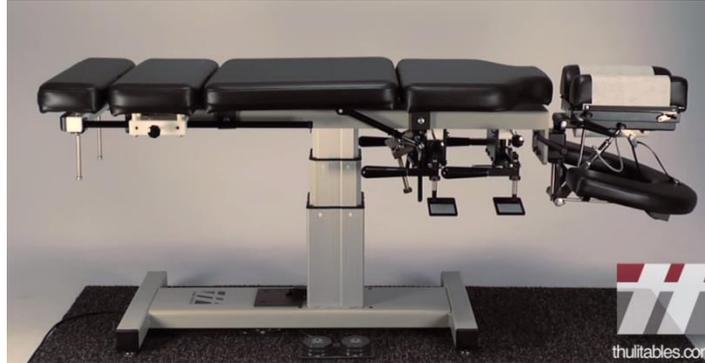


(Figura 3: Se pueden observar ambos colchones simplemente sobrepuestos sobre los colchones anteriores, en la imagen de la derecha se puede ver el adhesivo que se utiliza para sujetar los colchones DIAMOND®)

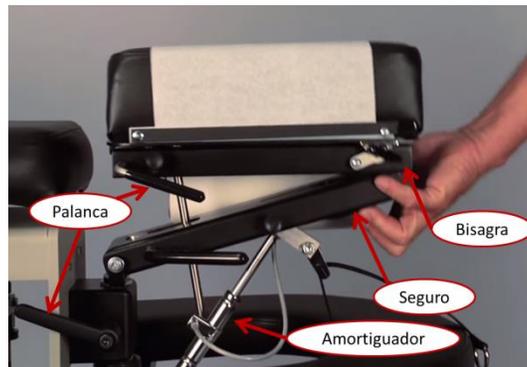
- Especificaciones de ángulos y pesos desconocidos.

- Colchones toman la forma de la fuerza aplicada y vuelven a su posición con facilidad.
- En la parte inferior de la estructura se pueden integrar placas de brazos.

3. Thuli Chiropractic Table 600 Series.



- Mesa quiropráctica no para quirófano.
- Contiene elementos interesantes para controlar la posición de placas.
- Puramente mecánica, utiliza palancas y amortiguadores para controlar ángulos (Ver Figura 4).
- Utiliza seguros y un cortador para asegurar papel limpio (Ver Figura 5).

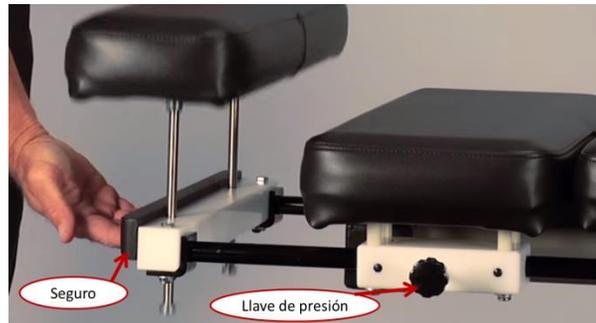


(Figura 4: Mecanismo de control de alturas y ángulos para la parte superior de una mesa Thuli®)



(Figura 5: Mecanismo sanitario para la placa superior de una mesa Thuli®)

- La traslación horizontal de las placas se logra con dos barras que funcionan como carriles, con una llave que funciona como prensa para apretar o aflojar la tensión de las placas (Ver Figura 6).

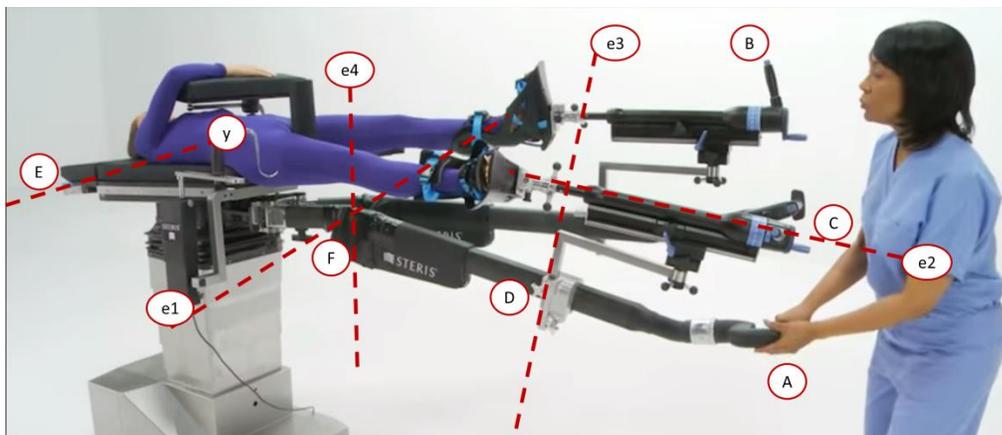


(Figura 6: Mecanismo de traslaciones con método de freno de una mesa Thuli®)

4. STERIS OT 1000® (Mesa de cirugía Ortopédica.)



- Insinúa ser una gran innovación.
- Conceptos son versatilidad, trabajo con imágenes, y seguridad.
- Se acomoda para cirujanos, anestesiólogos, y enfermeras.
- Utiliza tecnología “Swan”, de articulaciones simples y ligeras (Ver Figura 7).



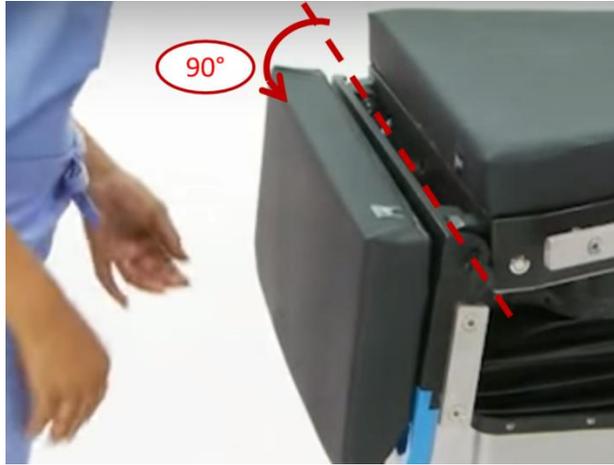
(Figura 7: Diagrama de elementos ortopédicos de una mesa de cirugía ortopédica STERIS®)

- El giro en Y de la pierna se hace sobre el eje 1 (e.1.), y se controla a través del gatillo al final de la pierna (A).
- La palanca (B) manipula la traslación y rotación sobre el eje 2 (e.2.).
- La manivela (C) y (H) controla la tracción para fijar o soltar el control de (B).
- La manivela (D) controla la tracción para la traslación del soporte de la pierna en el eje 3 (e.3.).
- El botón (E) permite un movimiento lateral sobre el eje "Y" de la placa lumbar con respecto al pedestal. Sirve para mejorar resultados de trabajo con imágenes.
- La manivela (F) permite controlar la tracción sobre el eje 4 (e.4.) para ajustar la posición de la pierna.
- Debajo de la placa lumbar existen coples para meter estructuras para descansar brazos.
- Fácil de aprender, teniendo las manivelas sueltas se tiene gran libertad de movimientos sin esfuerzo (La longitud de (A) con respecto al pedestal ayuda).
- La bota de sujeción de pies está abierta, es altamente ergonómica y sus materiales mantienen seguridad y posición.
- En ambos lados de la mesa se encuentra una placa para colocar gancho para fémur ajustable a cada 30° (cople dodecagonal) (Ver Figura 8).



(Figura 8: Imagen del mecanismo de inclinación para gancho de una mesa de cirugía ortopédica STERIS®)

- La sección de la placa de espalda está articulado con la sección de placa de cabeza en +90° ó 0° (Para acceso de anesthesiólogo) (Ver Figura 9).



(Figura 9: muestra de la capacidad inclinadora de una mesa STERIS®)

- Tiene un control “touch” para el movimiento de la mesa (Incongruente pues tiene pocos grados de libertad controlados electrónicamente).
- El pedestal incluye carro para navegación, las secciones de piernas pueden girar 180° para evitar ocupar mucho espacio.
- Las estructuras de brazos pueden ser colocadas solo de un lado para posicionar al paciente lateralmente.
- Tiene un cojín para la ingle, este puede posicionarse vertical u horizontalmente.
- El diseño sin estructura permite muy buenos resultados en obtención de imágenes, y no estorba al cirujano durante operaciones.
- Dada la poca estructura, es probable que los materiales sean caros, además de que la mesa no soporte tanto peso.

5. Trumpf Medical TruSystem 7000 dv®



- La compañía desarrolla, diseña, vende, y manufactura sus mesas.
- Seguridad, eficiencia y fácil uso son sus requerimientos conceptuales.
- El carro está integrado al pedestal, con ruedas más grandes para facilitar movilidad y uso prolongado.

- Sus seguros de movimiento en la parte inferior son topes los cuales salen de la rueda y aseguran la mesa al piso, incluyen un giroscopio para asegurar que la mesa quede perfectamente plana. (Ver Figura 10).



(Figura 10: Mecanismo de frenado de la mesa Trumpf®)

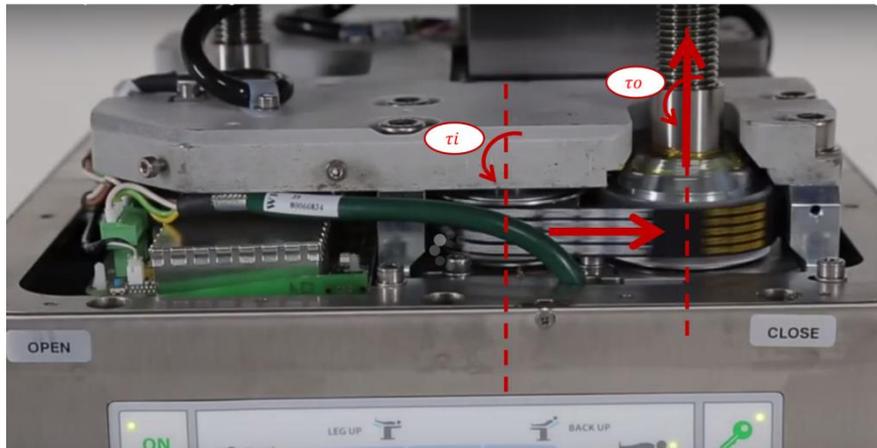
- Contiene un botón de emergencia para soltar los soportes de la mesa,
- La parte baja de la mesa se encuentra sellado para higiene.
- Todo el metal es puramente estructural, doblado con método patentado por Trumpf.
- Los pies pueden pasar por debajo de la mesa, ayudando a la ergonomía del equipo de cirugía. Por la misma razón la base está en forma de Y (Ver Figura 11).



(Figura 11: Base ergonómicamente diseñada para equipo de quirófano de la mesa Trumpf®)

- Tiene una quinta rueda en el centro del carro, esta baja eléctricamente y ayuda como pivote para girar la mesa, además ésta gira y mueve la mesa entera en línea recta con un control remoto.
- La entrada de poder se encuentra en la cabeza de la mesa. Éste carga las baterías de litio que permite usar la mesa por 2 semanas de uso normal.
- El pedestal tiene los clásicos tres grados de libertad electro-hidráulicos; la altura del mismo va de 22.8 in a 45 in.
- Los motores tienen control de velocidad, de 0 a 100% en saltos de 25%.

- Al parecer los grados de rotación del pedestal se logran con dos motores conectados a bandas que se acoplan a dos tornillos sin fin, los cuales dan la posición angular (Ver Figura 12).



(Figura 12: Mecanismo de inclinación debajo de acordeón de goma de la mesa Trumpf®)

- La mesa tiene un sistema de seguridad que informa cuando está apunto de volcarse o fallar debido a mala posición o sobrepeso.
- Aguanta hasta 450 kg.
- Los colchones cuentan con tres capas de espuma visco-elástica lo cual asegura la ergonomía del paciente.
- Los colchones están soldados en los cantos para evitar riesgos de infecciones (Ver Figura 13).



(Figura 13: Muestra del forrado y doblado de colchones en la mesa Trumpf®)

- Para configuración rápida y apoyo a la modularidad (Ver Figura 14):
 - o Las placas son de materiales ligeros. Tiene una agarradera para manejo fácil (O).
 - o Diseñado para dar estado visual total del estado del mecanismo (es más grande intencionalmente) (A).
 - o Un clic avisa al usuario una sujeción correcta (B).
 - o Las agarraderas laterales de las placas son de Aero-Aluminio (C).
 - o Los seguros "Clicker" son grandes y azules para mejorar visibilidad (D).



(Figura 14: Imagen que muestra los componentes para poder cambiar una placa en una mesa Trumpf®)

- Contiene los mismos grados de libertad en placas que la mesa VANTO®
- El colchón de la cabeza tiene una forma circular al centro que centra la cabeza del paciente.
- Los seguros para liberar placa se encuentran en el centro de gravedad del colchón para manejarse fácilmente.
- Los motores de las placas se mueven de forma sincronizada al adoptar una nueva posición.
- Las bases centrales de la placa son de fibra de carbono, esto ayuda a obtención de imágenes.
- La placa de cadera se traslada 10 in horizontalmente.
- Se inserta un riel dentro de las placas, el cual permite el ingreso de un cassette de rayos x.
- El control remoto está hecho desde el punto de vista del anestesiólogo.
- Fácil de entender pues tiene símbolos y palabras.
- Una pantalla LCD provee datos de posición de la mesa, datos de seguridad y estado de las ruedas.
- Cuando se activa una función, el control enciende luces en botones para indicar que hacer después.
- Tiene 32 posiciones reprogramables.
- TruSystem 7000dv® Integra más funciones:
 - o Un sistema de movimiento isocéntrico, es decir, cada vez que algo en la mesa se mueve, el sistema controla los otros motores para mantener al paciente en el centro de gravedad de vista superior del paciente. (NOTA: Solo activo durante posición Trendelenburg) (Ver Figura 15).



(Figura 15: Ejemplo de funcionamiento de sistema isocéntrico de inclinación en una mesa Trumpf® en posición Trendelenburg)

6. SHampaine 4900B®



- Mesa simple con carro integrado.
- 3 grados de libertad en pedestal.
- Solo dos grados de libertad en placas (ambas piernas tienen un motor).
- Control integrado sin posiciones predeterminadas.
- Incluye un motor de emergencia.
- Incluye baterías de Litio para operar sin corriente eléctrica.
- Pedales en la parte inferior pueden bloquear o desbloquear las ruedas.
- Tiene un grado de libertad adicional en la parte de la placa de cadera, este es un actuador traslacional vertical de unas 4-5 in (Ver Figura 16).



(Figura 16: Muestra de la placa de elevación de riñón de la mesa SHampaine 4900B®)

7. Skytron 6700 Series ®

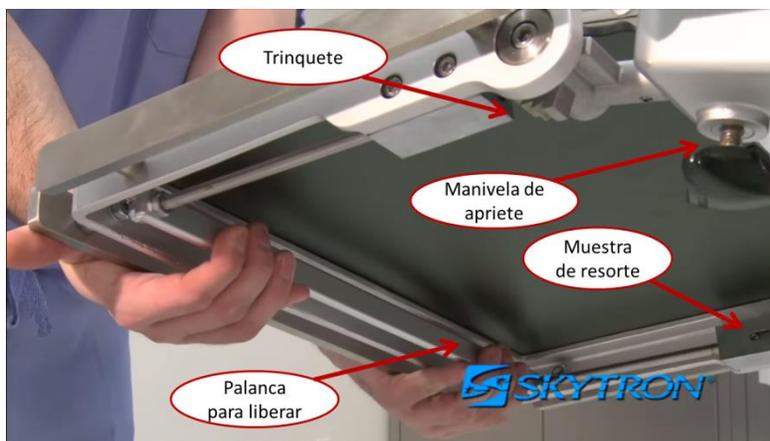


- Soporta 1200lb en la placa lumbar.
- Soporta 1000lb en cualquier zona articulada.
- Pesos anteriores son referidos al paciente acostado en posición de operación común. Si éste es colocado en voladizo solo podrá soportar 500lb.
- Carro incluido, con freno por medio de 1 pistón en cada rueda, el cual hace contacto con el piso, hidráulico.
- Además del control, la mesa dispone de controles de emergencia en el pedestal. Éstos se mantienen sellados por una placa de acero.
- Control adicional de emergencia para frenos (Ver Figura 17).



(Figura 17: Imagen muestra el sistema de emergencia de liberación de frenos en la mesa Skytron®)

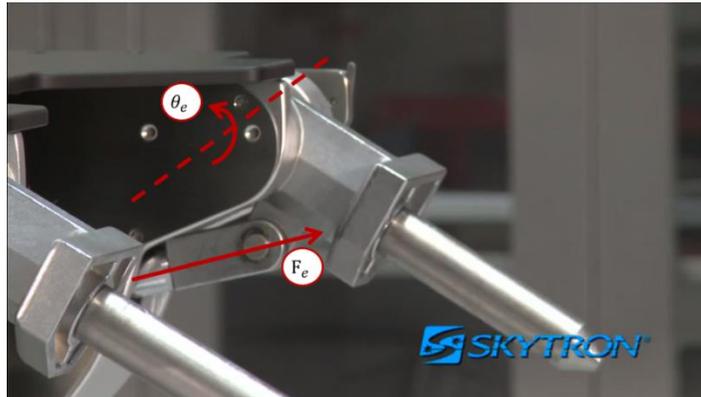
- La placa de cabeza se acomoda con una palanca de “liberado rápido”. Se acomoda desde 60° a -90° (con cero a las 9:00) en incrementos de 15°.
- El riel se suelta con dos manivelas de presión.
 - o Permite hacer más larga la sección de cabeza por 3in.
- El sistema de unión con la cabeza puede observarse en la Figura 18.



(Figura 18: Imagen muestra el sistema de liberación de placas en la mesa Skytron®)

1. La zona de espalda, pierna y lumbar tiene soporte de placa para rayos X. Cuenta con palanca para ser liberadas.

2. El sistema para levantar y bajar electrónicamente las placas consiste en una palanca (Ver figura 19.)



(Figura 19: Imagen muestra el sistema de inclinación de placas en la mesa Skytron®)

3. Ambas placas (piernas y espalda) hacen sonar un “click” al momento de ser reinsertadas.
4. La mesa puede girar con respecto al pedestal, para lograr esto. Una abrazadera con apriete por excentricidad se libera para llegar hasta 210° con respecto a la posición natural de la mesa.
5. Si se gira a más de 90°, se requerirá un bastón para soportar la mesa.
6. La mesa soporta 120V de C.A. y batería con vida de 2 semanas.
7. Todos los controles e indicadores están debidamente sellados.
8. Los rieles laterales son utilizados para colocar accesorios, como cinturones, rieles, y soportes adicionales.
9. Los colchones se unen con velcro.
10. La mesa por predeterminado tiene puntos que pueden pellizcar al paciente, recomiendan tener cuidado con el paciente cuando cambian de posición la mesa.
11. La mesa tiene accesorio de 40in para espalda/pierna de fibra de carbono.
12. Incluye accesorio para separar piernas.

8. Lojer Scandia Surgical Table®:



- 13. Pistones en rueda para fijar al piso.
- 14. El pedestal tiene 3 GDL hidráulicos.
- 15. GDL básicos para piernas y espalda.
- 16. GDL para piernas y espalda hidráulicos (Ver figura 20).



(Figura 20: Imagen muestra el sistema de inclinación de placas en la mesa Lojer®)

- 17. Accesorios para piernas y para operaciones ortopédicas.
- 18. Todos los accesorios se sujetan a los rieles.
- 19. Traslación en placa lumbar.

9. OTESUS 1160- MAQUET GETINGE GROUP®:

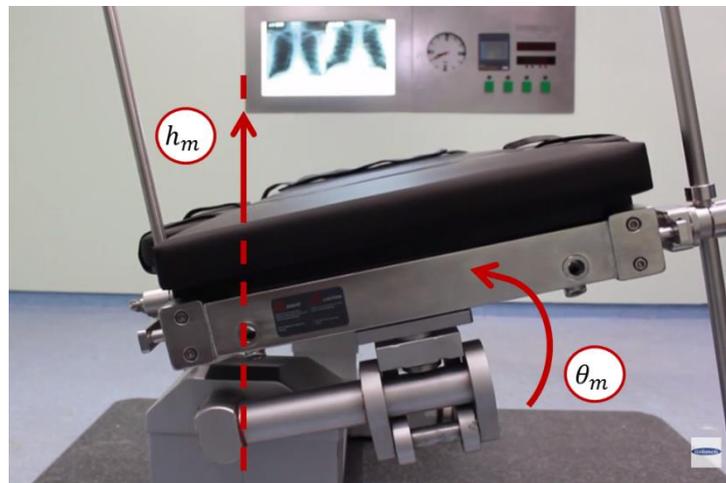


- 20. Altura desde 619 a 1159 [mm].
- 21. Capacidad de 380[kg].
- 22. Inclinaciones hasta de 28°.
- 23. Carro no integrado al pedestal, carro con controles de pedal.
- 24. Control con indicadores de ángulos, guarda posiciones.
- 25. Detección de colisiones.
- 26. Compatible con otros accesorios y equipos.

10. Üzümcü imaging & spine surgery table XT-30®:



27. Mesa con doble pedestal con 2GDL cada uno (Ver figura 21)



(Figura 21: Grados de libertad por columna de la mesa 10. Üzümcü®)

28. Incluye accesorios:

- Tubo para suero y sangre, con sujeción de mariposa.
- Estructura para anestesia, con sujeción de mariposa.
- Cinta para cuerpo.
- Dos soportes para brazo, dos para hombros, dos para laterales.
- Dos controles.
- Un conector, una placa para sujeción de espina y una base de silicón para la cabeza (Ver figura 22).



(Figura 22: Diferentes apoyos de espina y cabeza incluidos en la mesa Üzümcü®)

- 29. Pedal en las ruedas bloquea la rueda.
- 30. Para controlar ángulo de soporte de brazo utiliza un trinquete. (Ver Figura 23).
- 31. Otro soporte para barras a 90° es una placa larga con manivela mariposa (Ver figura 24).



(Figura 23: Mecanismo trinquete para controlar inclinación de soporte de brazo en la mesa Üzümcü®)



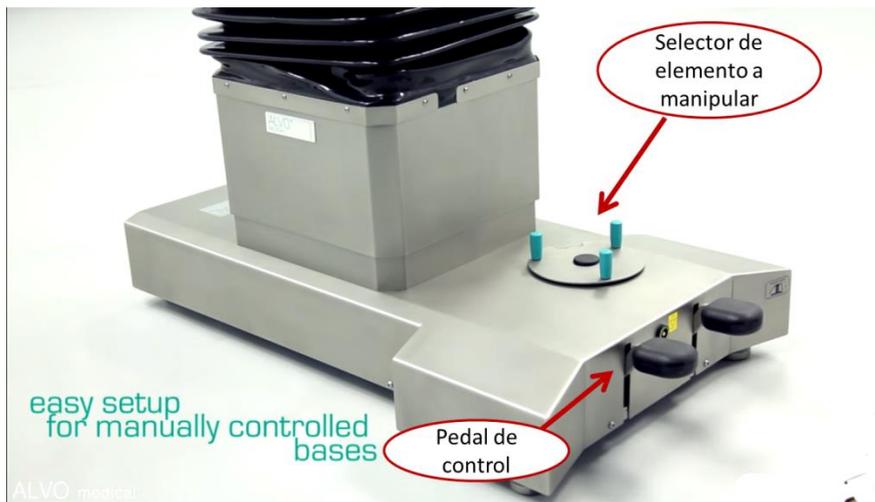
(Figura 24: Soporte estándar de barra a 90° de la mesa Üzümcü®)

- 32. El cinturón del paciente se ajusta con velcro.
- 33. Centro de mesa hecha de fibra de carbono.

11. ALVO medical operating tables®:



34. Atención especial a solución manual hidráulica a todo sistema previamente eléctrico en el pedestal (Ver figura 25).



(Figura 25: Pedestal que da función para subir, bajar, o inclinar la mesa ALVO®)

IV. REGLAMENTOS EXISTENTES SOBRE MESAS QUIRÚRGICAS:

1. Reglamento de insumos para la salud⁵.

Artículo 102-VI. Los acabados de paredes, pisos y techos, dentro de las áreas de fabricación, operación, y almacenamiento, deberán cumplir los requisitos de textura, facilidad de limpieza, e impermeabilidad.

Artículo 179. Para obtener registro sanitario de los insumos, se deberá anexar información siguiente:

- a) Información de seguridad y eficacia.
- b) Etiqueta en español.
- c) Instructivo en español.
- d) Descripción de proceso de fabricación.
- e) Descripción de estructura, materiales, partes y funciones, cuando se trate de equipos médicos.
- f) Constancia de buenas prácticas de fabricación.

Se necesita certificación de buenas prácticas de fabricación de dispositivos médicos:

Para conocer medidas de seguridad sanitaria leer carta compromiso al ciudadano de COFEPRIS

- a. Cumplir normatividad vigente de insumos para la salud.
- b. Contar con licencia sanitaria o aviso de funcionamiento.
- c. Contar con aviso de responsable sanitario.
- d. Contar con pago de derechos.

2. Registro sanitario de dispositivos médicos⁶:

- Insumos que se utilizan para prevenir, diagnosticar o sustituir cualquier parte del cuerpo.
- Registro permite fabricar, distribuir, comercializar o ser usado en el país.
- Duran 5 años.
- Estos registros pueden ser revocados o autorizados conforme se establece en la LEY GENERAL DE SALUD o el REGLAMENTO DE INSUMOS PARA LA SALUD.
- Según los requisitos y lineamientos para obtención de registro en su sección 1.3
 - i. SEÑALA QUE LOS INSUMOS DE SALUD SE CLASIFICAN DE LA MANERA SIGUIENTE:

⁵ Reglamento General de Insumos para la Salud. Secretaría de Salud.

<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/compi/ris.html>

⁶ Registros Sanitarios de Dispositivos Médicos. Cofepris. Secretaría de Salud.

<http://www.cofepris.gob.mx/AS/Paginas/Registros%20Sanitarios/RegistroSanitarioDispositivosMedicos.aspx>

1. CLASE I: Aquellos insumos conocidos en la práctica médica y que su seguridad y eficacia están comprobadas y generalmente NO SE INTRODUCEN EN EL ORGANISMO.

Esto clasifica una mesa de quirófano y sus accesorios como un insumo de Clase I.

3. Según la página oficial de la COFEPRIS, existen dispositivos médicos de Clase I de bajo riesgo⁷:
 - b. Entre éstos existe una lista de elementos que no requieren registro sanitario.
 - c. En esta lista encontramos los siguientes artículos:
 - i. 607: Colchonetas para mesas de operación
 - ii. 1367: Mesa de cirugía.
 - iii. 372: Cama manual para paciente y accesorios.
 - iv. 373: Cama para examinación ginecológica y de nacimiento con accesorios.
4. Según la norma oficial mexicana NOM-016-SSA3-2009, que establece las características mínimas de infraestructura y equipamiento de hospitales y consultorios de atención médica especializada:

- En su apartado 6.2 indica⁸:

“Las características de los conductores, métodos de alambrado, receptáculos y sistemas eléctricos para el suministro de energía eléctrica esencial y no esencial desde las fuentes normales y alternas de emergencia, con sus correspondientes circuitos, dispositivos, equipos eléctricos, protecciones y canalizaciones, deberán apegarse a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana referida en el numeral 3.1 de esta norma. No se deben utilizar receptáculos múltiples o extensiones convencionales para suministrar energía eléctrica a los equipos electromédicos en el hospital.”

- o Mostrando el punto anterior, y sabiendo que la mesa debe de cumplir con normativa de instalación eléctrica, se busca el numeral establecido dentro de la norma (3.1).

“3.1 Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005, Instalaciones eléctricas (utilización).”

⁷ Dispositivos médicos de clase I que no registran. Cofepris. Secretaría de Salud. Págs. 9 14 y 31 http://www.cofepris.gob.mx/AS/Documents/RegistroSanitarioMedicamentos/no_registran.pdf

⁸ FUENTE: Norma oficial Mexicana NOM-016-SSA3-2009. Diario Oficial de la Federación. Secretaría de Gobernación. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5284306&fecha=08/01/2013

5. Según la norma oficial mexicana *NOM-001-SEDE-2005* en su artículo 517, donde se habla de instalaciones en lugares de atención a la salud⁹:

Se clasifica como Área de atención crítica a:

“Son aquellas unidades de atención especial como: unidades de cuidados intensivos,..., salas de operación y áreas similares en las cuales los pacientes estén sujetos a procedimientos invasivos y conectados a aparatos y equipos electromédicos sofisticados, que estén energizados mediante receptáculos de grado hospital”.

Clasificando a una sala de quirófano como un área de atención crítica. Esto conlleva a ciertas especificaciones de sistemas eléctricos, especialmente de alimentación y seguridad, que debe cumplir la mesa pues esta es parte de la sala de quirófano.

Estas especificaciones eléctricas se marcan en la sección 517-19 de la norma, las cuales no se enlistan en este documento pues está fundamentado en la parte mecánica de la misma.

CONCLUSIÓN:

El diseño de la mesa no necesitaría contemplar parámetros para un registro ante la COFEPRIS, aunque si se requiere cumplir la norma mexicana de la secretaría de gobernación, y demostrar buena práctica ante CENETEC. Para asegurar la calidad del producto y cualquiera de sus accesorios se seguirá la norma encontrada en los artículos 102°-VI y 179° del Reglamento de Insumos de la Salud y cumplir las especificaciones de las dos normas oficiales mexicanas. Además se debe asegurar que todo material o componente de la mesa sea inoxidable, hipoalérgico, con grado de ergonomía adecuado, todo elemento debidamente sellado, de fácil limpieza y que cuente con suficientes elementos de seguridad en caso de emergencias.¹⁰

⁹ FUENTE: Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-205. Secretaría de Gobernación.
<http://gama.fime.uanl.mx/~omezapro/LEYES/NOM-001-SEDE-2005.pdf>

¹⁰ FUENTE: Registros Sanitarios de dispositivos médicos. COFEPRIS. Secretaría de Salud.
www.cofepris.gob.mx/AS/paginas/Registros%20Sanitarios/RegistroSanitarioDispositivosMedicos.aspx

V. CONCEPTOS

6. Mesa de quirófano: Herramienta que emplea el cirujano y su equipo para posicionar al paciente y todos los accesorios requeridos en la intervención quirúrgica.
7. Características Básicas:
 - d. Estable, cómoda, segura.
 - e. Tener un acolchado estable.
 - f. Base móvil.
8. Los tableros más utilizados son el universal y el de traumatología.
9. Requiere de movimientos básicos siguientes:
 - g. Regulación de altura.
 - h. Inclinación lateral en ambos lados.
 - i. Capacidad de Trendelemburg y anti Trendelemburg.
 - j. Regulación de la placa lumbar.
 - k. Regulación de piernas (independiente).
 - l. Regulación de la placa de cabeza.
10. Las partes básicas de la mesa son (Referencia en figura 26a):
 - i. Placa de cabeza.
 - ii. Módulo de placa de espalda.
 - iii. Segmento medio lumbar.
 - iv. Módulo de placas asiento/pie.
 - v. Módulo de piernas.
 - vi. Palanca de manejo.
 - vii. Hembra para conexión de red.
 - viii. Placa de características.
 - ix. Placa de control.
 - x. Control remoto alámbrico.
 - xi. Hembra de control remoto, interruptor de pie.
 - xii. Pedestal.



(Figura 26: Partes de una mesa de quirófano universal)

11. Seguridad:

- m. Colocación del paciente depende de anatomía, fisiología, familiarización del equipo.
- n. Se elige según el procedimiento, vía de acceso, y técnica anestesiológica.
- o. Influye edad, peso, estatura, estado cardiopulmonar.
- p. Se deben seguir los siguientes aspectos:
 - i. Posiciones corporales correctas.
 - ii. Mecánica de la mesa de operaciones.
 - iii. Medidas protectoras.
 - iv. Mantener siempre preparado el equipo.
 - v. Saber utilizarlo.

12. Posiciones quirúrgicas:

1. Posición supina o decúbito dorsal. (Abdomen, ginecológica, urológica, cara y cuello, tórax, cirugía vascular, procedimientos ortopédicos)
 - 1.1. Supina en Trendelenburg.
 - 1.2. Supina en Trendelenburg invertido.
 - 1.3. Supina en posición de litotomía.
 - 1.4. Supina en posición ortopédica.
2. Posición prona o decúbito ventral. (tórax superior, tronco, piernas, columna, coxis, cráneo)

- 2.1. Kraske (Posición navaja)
- 2.2. Laminectomía
- 2.3. Craniectomía.
3. Posición de Sims o lateral. (Específicos de torax, riñón, y útero, la posición del brazo varía según el sitio y la extensión de la incisión torácica, se pueden requerir cojines adicionales)
4. Posición de Fowler o Sentado. (Complicada y de poco uso, columna cervical, craneotomía posterior, vías transfenoidales, procedimientos de cara o boca)

13. Accesorios de una mesa de quirófano:

1. Soporte Estándar.
2. Soporte Articulable.
3. Apoya brazos.
4. Soporte para pieza de fijación.
5. Pieza de fijación.
6. Soporte del pubis.
7. Soporte dorsal.
8. Soporte para brazo elevado.
9. Soporte para artroscopia de rodilla.
10. Soporte para artroscopia de hombro.
11. Larguero extensible.
12. Largueros con el soporte de piernas.
13. Placa apoya pies.
14. Tablero quirúrgico traumatológico.
15. Pivote para fijación vertical.
16. Arco narcosis.
17. Arco suero.
18. Soporte para tubos.
19. Bandeja porta instrumentos.
20. Correa fijación.
21. Soporte para la pierna.
22. Sujeción para el muslo.
23. Soporte lateral.
24. Sujeta hombros.
25. Soporte apoya pies.
26. Soporte apoya brazos.
27. Soporte iliaco.
28. Apoya rodillas.
29. Alargador de la guía lateral.
30. Calota de cabeza ajustable.
31. Apoya brazos.
32. Fijador craneal
33. Marco de fijación

34. Apoya cabeza.
35. Soporte de piernas.
36. Barra de intervenciones de menisco.
37. Enclavado intramedular de húmero.
38. Fija dedos.
39. Soporte de articulación de codos.
40. Mesa de mano¹¹

¹¹ Fuente: Dr. Berry y Kohn. ATKINSON, "Técnicas de quirófano", 7° Edición y Joanna R. Fuller. "Instrumentación Quirúrgica", 1986.

VI. OBJETIVO, CONCEPTO DEL PRODUCTO, REQUERIMIENTOS Y NECESIDADES

Objetivo:

Completar el diseño a detalle de una mesa quirúrgica universal, añadiendo el diseño de sus accesorios más comunes, bases de su circuitería, selección y diseño de componentes, método de manufactura y selección de materiales.

Concepto:

Mesa quirúrgica universal compatible con accesorios comunes, que cumpla con requerimientos de salud y seguridad de la Ley General para Insumos de la Salud de la COFEPRIS, la cual podrá abastecer la demanda del sector público hospitalario.

Requerimientos y necesidades:

La mesa debe de incluir, o ser compatible con accesorios universales listados en la sección de conceptos.

La mesa deberá poder adoptar las 4 posiciones básicas de cirugía con todas sus variantes, dejando la posibilidad de adoptar diferentes posiciones a éstas.

La mesa deberá estar compuesta de elementos sencillos, de fácil obtención, y manufactura.

Todo material y componente deberá tener las siguientes propiedades: inoxidable, hipoalergénico, impermeable, de fácil limpieza y desinfección; si es necesario, deberá estar debidamente sellado conforme a las leyes de la COFEPRIS; los componentes eléctricos y/o hidráulicos deberán estar debidamente probados además de contar con sus respectivas señalizaciones de seguridad y elementos de emergencia y/o respaldo.

Se deben evitar concentradores de residuos que propicien infecciones (por ejemplo, costuras en las colchonetas).

Deberá contar con instructivo de instalación, uso y mantenimiento (por escrito).

Deberá cumplir con los grados de libertad respectivos para adoptar cada posición.

Tiene que ser modular, es decir que los componentes principales y secundarios puedan ser ensamblados o desensamblados por el usuario sin recurrir a ninguna herramienta.

VII. PROCEDIMIENTO PROPUESTO DE DISEÑO

1. Una vez marcados los requerimientos, necesidades, teniendo el estudio de mercado y la teoría recolectada, se procedió a dar soluciones para los componentes principales de la mesa.
2. Teniendo varias soluciones se optará por aquella que parezca más funcional.
3. A partir de esta solución se marcarán las especificaciones a las que llegará la misma.
4. Se realizará un proceso iterativo de diseño con las soluciones seleccionadas, tomando en cuenta principalmente la facilidad de manufactura, instalación y disponibilidad de materiales, sin comprometer los requerimientos y necesidades.
5. Una vez terminado dicho proceso se realizará lo mismo con los accesorios de la mesa, comprobando su compatibilidad, economía y manufactura.
6. A la par, se tiene que dar solución conceptual a cualquier componente eléctrico.
7. Se realizará un prototipo digital a detalle de la mesa con sus componentes, donde se podrá comprobar el movimiento y límites de cada mecanismo.

VIII. DIVISIÓN DE SISTEMAS EN BASE A FUNCIÓN

1. Sistema de transporte y freno de mesa

Función: Transportar o mover la mesa en el hospital y/o quirófano; además proveerá el freno para fijar la mesa al piso en el lugar deseado.

2. Sistema de pedestal:

Función: Almacenar cualquier componente eléctrico y/o hidráulico de manera segura dentro de los requerimientos, manteniendo la posibilidad de grado de libertad de traslación.

3. Sistema de control de pedestal:

Función: Controla la altura, inclinaciones y posiciones de placas principales de la mesa.

4. Interfaz de control:

Función: Muestra la posición y/o permite al usuario manipular las posiciones principales de la mesa al usuario en una o varias interfaces.

5. Sistema de juntas mecánicas secundarias:

Función: Permite al usuario posicionar y fijar las placas secundarias de la mesa.

6. Sistema de juntas mecánicas auxiliares:

Función: Permite al usuario posicionar y fijar cualquier accesorio externo a la mesa.

7. Sistema de estructura de placas:

Función: Da soporte a la carga deseada en cualquier placa de la mesa, además de mantener radio transparencia.

8. Sistema de ergonomía para paciente (colchones):

Función: Acolcha debidamente al paciente para su operación, incluye los colchones básicos y especiales para posición especial, también incluye sujeción hacia la estructura; da prioridad a condiciones sanitarias.

9. Sistema de sujeciones ortopédicas:

Función: Involucra todo lo respectivo a sujeciones, brazos y soportes para operaciones ortopédicas de la cadera hacia abajo.

10. Sistema de accesorios

Función: Define cualquier objeto externo a la mesa que apoye o ayude al paciente y/o equipo de quirófano en alguna función específica.

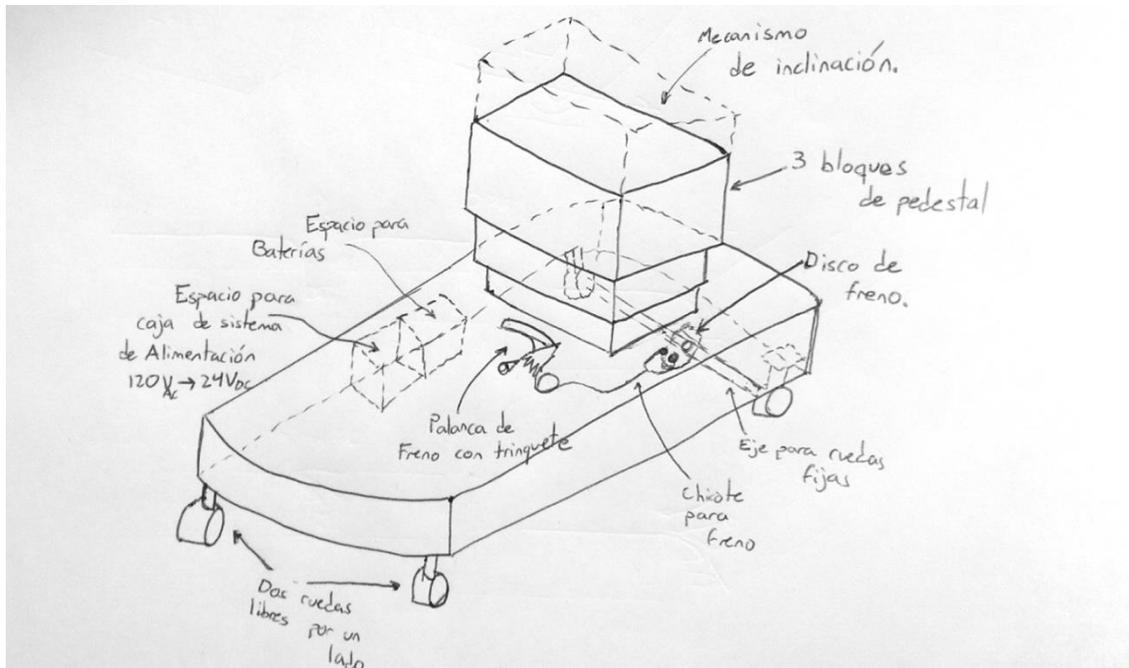
IX. SOLUCIONES GENERALES POR SISTEMA

A partir del estudio de mercado y de las soluciones encontradas se listaron distintas soluciones posibles por sistema:

1. Sistema de transporte y freno de mesa:
 14. Puede tener carro integrado o exterior al pedestal.
 - q. Conviene incluido para evitar problemas de instalación.
 - r. Hay tres posibilidades para frenar la mesa:
 - i. Sistema hidráulico que permita bajar cuatro pistones hasta levantar la mesa
 1. Requeriría dos controles, uno eléctrico y uno mecánico de pedal (serviría de control de emergencia).
 2. Control de pedal preferible dada la necesidad de tener al equipo de quirófano en umbral estéril.
 - ii. Sistema hidráulico de freno.
 1. Cada rueda sería bloqueada con un freno parecido al de una bicicleta, añadiendo un resorte para mantener posición.
 - iii. Freno puramente mecánico.
 1. Freno parecido al freno de mano de un coche.
 2. Un balancín jala 4 chicotes que levantan un trinquete.
 3. Puede ser actuado electrónicamente.

Para cada caso, se necesita una batería que ayude a los actuadores eléctricos a moverse si la mesa no está conectada, baterías de Li-Po de 24 Volts serán requeridas con un sistema de carga automática cuando la mesa se conecta.

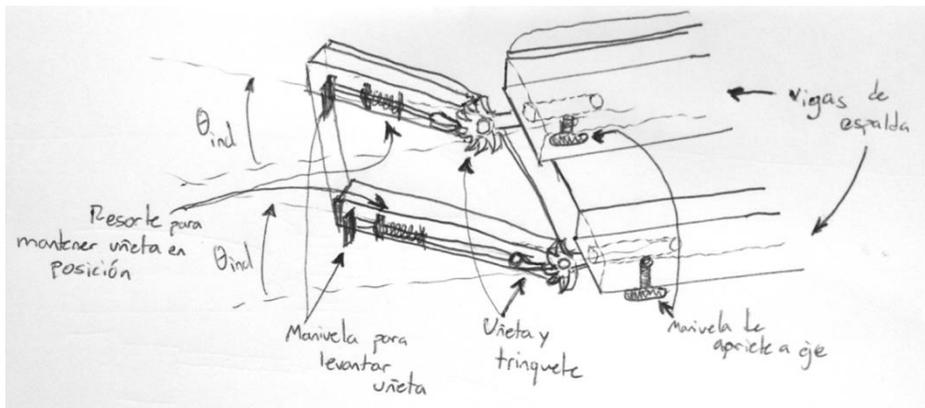
2. Sistema de pedestal:
 15. Debe de ser capaz de almacenar las baterías, actuadores, bandas y motores en un espacio cúbico cuando la mesa está en posición inferior.
 16. Consta de tres bases cuadradas, las cuales aumentan de perímetro mientras la mesa aumenta en altura. (Ver figura 27).



(Figura 27: Bosquejo con elementos que deben estar presentes en el pedestal.)

17. Ensamblado al carro con tornillería al interior del pedestal.
 18. La estructura debe soportar el peso del paciente y la cama en su posición más crítica (voladizo a máxima altura).
 19. A pesar de que por geometría no entra líquido en el pedestal, cada cuadro deberá estar aislado con el cuadro superior a éste con goma aislante.
 20. El actuador de altura debe ser definitivamente hidráulico y estar al centro del pedestal.
 21. Puede tener una funda de goma (tipo acordeón) para ocultar los componentes eléctricos/hidráulicos del interior.
3. Sistema de control de pedestal
 22. La altura de la mesa debe de ser electrohidráulica, con control secundario por pedal integrado al carro:
 - s. Si es posible, tener un sistema de emergencia para bajar la mesa a posición inferior.
 23. La inclinación se puede controlar por medio de:
 - i. Un motor o servomotor con suficiente par para inclinar la mesa.
 - ii. Actuadores electrohidráulicos lineales que inclinen la mesa.
 - iii. Dos tornillos sin fin controlados por motores de corriente directa y una banda (parecido a un gato mecánico).
 24. La traslación longitudinal puede ser lograda:
 - iv. Motores a pasos que se acoplen a las placas, únicamente operables cuando la mesa esté totalmente horizontal (esto para evitar componentes de peso longitudinales).
 - v. Motor de corriente directa con bandas acopladas a las placas

- vi. Un sistema piñón cremallera que recorra toda la placa lumbar.
 - 1. El sistema debe estar por encima de los actuadores de inclinación de la mesa para asegurar recorrido completo.
25. Para los actuadores de inclinación de placas principales se tienen dos opciones:
- vii. Actuador electrohidráulico para la placa de espalda y actuadores manuales para las piernas a diferentes grados.
 - viii. Servomotor y eje para la placa de la espalda, mientras que las placas de piernas se mantienen manuales con control por trinquete y uñeta.
- t. Placas de las piernas requieren 4 posibles actuaciones mecánicas, dos para cada pierna (inclinación sobre plano lateral y normal a la mesa), por esta razón se considerará hacerlas puramente mecánicas.
4. Interfaz de control:
26. Existen varias configuraciones posibles:
- i. Control remoto manual y control de pedal.
 - ii. Control remoto manual y control desde el pedestal.
 - iii. Control desde el pedestal y control desde pedal.
27. Todos deben adicionar un control de emergencia para el frenado de ruedas y bloqueo de cualquier movimiento de la mesa.
28. Pueden o no tenerse posiciones predeterminadas.
29. Debe incluir reposicionar a origen (hasta abajo y horizontal).
5. Sistema de juntas mecánicas secundarias.
30. Ya que representan las sujeciones de placas de espalda/cadera y cadera/piernas, éstas pueden ser sujetadas de varias formas:
- u. Para las piernas:
 - i. Sistema tipo trinquete y uñeta donde un tubo entra a la estructura a acoplar y se aprieta por llave lateral. Para controlar la inclinación desde el plano lateral se usa un sistema tipo chicote por debajo de la placa el cual jala la uñeta para que al momento de soltarse éste se acople al trinquete. (Ver figura 28)



(Figura 28: Bosquejo con elementos que podrían estar presentes para controlar la inclinación de la placa de cabeza.)

- ii. Esto mismo se puede lograr con un tubo que una la estructura principal con la de la pierna, apretado y controlado por una llave de mariposa o una abrazadera con apriete de excentricidad. Esto permitiría cualquier ángulo de operación y no por saltos como el de un trinquete, pero dificultaría su operación.
 - v. Para la placa espalda-cabeza:
 - i. Mismo mecanismo del inciso a) para las piernas.
 - ii. Sistema de gancho con botón tipo pluma, con ajuste de ángulo hidráulico o eléctrico.
- 6. Sistema de juntas mecánicas auxiliares:
 - 31. Los carriles laterales son fundamentales para esto, pues soportan todos los accesorios.
 - 32. Se utiliza una junta estándar la cual aprieta el tubo de accesorio con una llave de mariposa.
 - 33. Para la junta articulable la inclinación desde plano lateral se puede lograr:
 - iii. Juntas apretadas por un dentado cilíndrico.
 - iv. Un mecanismo tipo tubo y cilindro el cual es apretado en el ángulo deseado por una abrazadera con apriete de palanca excéntrica.
- 7. Sistema de estructura de placas:
 - 34. Estructuras laterales de acero inoxidable o de aluminio aeroespacial.
 - 35. Debe tener una base media de material radiotransparente, entre los cuales los materiales pueden ser: fibra de carbono, acrílico industrial o algún polímero rígido.
 - 36. Por debajo de la base para pacientes deberá existir un canal el cual permita el posicionamiento de placa radiográfica.
 - 37. A los lados se integran los carriles para accesorios.
 - 38. Al final de cada viga estructural deberá tener entrada para las sujeciones de cada placa secundaria.
- 8. Sistema de colchones:
 - 39. Incluye uno para cada placa: cadera, extensión de cadera, espalda, cabeza, piernas, extensión para radio cirugía.
 - 40. Incluye las adicionales las cuales incluyen:
 - w. Una que levante la cadera para cirugía de riñones.
 - x. Una para la cabeza cuando el paciente está boca abajo.
 - 41. Para las costuras pueden ser enfundadas y cerradas por las esquinas, tejidas y soldadas por plástico.
 - 42. Espuma visco elástica (Memory Foam) asegura la posición ergonómica del paciente y distribuye las cargas de forma homogénea hacia la superficie.
 - 43. Buscar soluciones de telas impermeables, hipoalergénicas y antiestáticas.

- 44. Se pegan con velcro a la fibra o vigas de la estructura.
 - 45. Para riñón se puede juntar con una cinta de velcro que vaya por debajo del colchón anterior o reemplazar completamente el colchón medio entre cadera y espalda (Ver Figura 3).
9. Sistema de sujeciones ortopédicas:
- 46. Sistema que es parte de juntas para piernas; ya que éste no es considerado parte de una mesa quirúrgica universal, se pretende emular el sistema de la figura 7 de la forma más sencilla posible.
10. Sistema de accesorios:
- 47. Este sistema generará los accesorios enlistados en la sección de conceptos de la forma más sencilla posible y que puedan ser acopadas a las juntas mecánicas auxiliares bajo presión.

X. DISEÑO MECÁNICO PRINCIPAL

En esta sección se describe la tarea realizada, y como es que ésta se llevó a cabo así como sus resultados.

Cabe destacar que en el diseño final de cada pieza se tomó en cuenta el evitar concentradores de esfuerzos (cambios drásticos en la geometría de las piezas), además de evitar concentradores de infecciones (geometrías que hagan difícil el acceso para su limpieza o que permitan almacenamiento de residuos).

Se realizó el primer esquema de la tapa de la mesa. No tiene pensada manufactura, es para preparar espacios para piezas de carro y sistemas eléctricos.

Se diseñaron carriles laterales para acoplar tapa con piso de la mesa. Se unen con 5 tornillos inox. M8 1 in largo cónicos.

A partir de este punto se decidió que para cualquier solución se utilizarán tornillos inox. M8 de cabeza cónica. Además de que en cada barreno se realizará un chaflán a 45° a la profundidad de la cabeza del tornillo para sellar la unión y que no represente un riesgo para el equipo de cirugía (que no se puedan golpear con él).

Se diseñó un piso enrejado que permite añadir y observar elementos eléctricos y del carro en un futuro (cuando éstos se diseñen).

- Sufrirá varias modificaciones debido a peso que recibirá y piezas que incluirá, específicamente eléctricas.

Después de una larga investigación para encontrar actuadores de uso médico que estén disponibles en México, se encontró solo una empresa llamada LINAK de origen estadounidense que distribuye en nuestro país.

Se descargó del catálogo LINAK el .iges del actuador lineal LA44IC¹² que entrega hasta 12kN, se extiende de 100 a 400 mm y trabaja a 24 V c.d.

También se descargó el .iges de la columna elevadora BL1¹³ además de su ficha técnica.

- Esta columna soporta 2000 N de carga con factor de seguridad de 2.5.
- Lamentablemente es la única columna disponible para uso médico que tiene dicha empresa, esto limitaría mucho el peso total que pueda tener la mesa y el paciente.
- Para dar solución previa a esto, la estructura de la mesa y sus mecanismos deberán ser de aluminio aeroespacial y la mesa deberá tener un límite de peso de 90Kg. (Esto se demuestra más adelante en este capítulo).

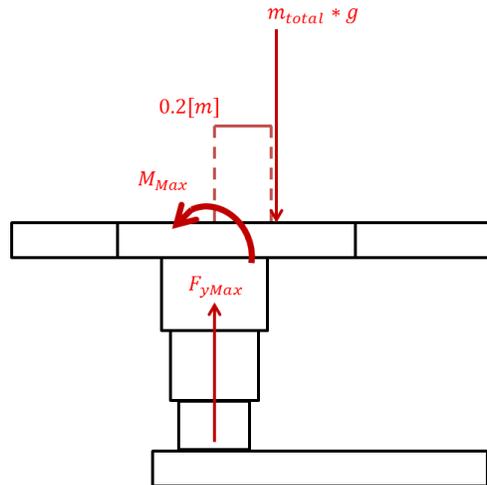
¹² Actuador lineal LA44IC encontrado en <http://www.linak-latinamerica.com/productos/linear-actuators.aspx?product=LA44+IC> con ficha técnica en anexos de este documento.

¹³ Columna elevadora BL1 encontrada en <http://www.linak-latinamerica.com/productos/lifting-columns.aspx?product=BL1> con ficha técnica en anexos de este documento.

Se descargó el .iges y ficha técnica del actuador LA31¹⁴ de 6000-4000 N de carga a 24 V c.d.

Se envió correo a ILSA México (empresa que distribuye dichos actuadores) para precios y distribución de productos LINAK, pero éste no fue contestado.

Se realizó un cálculo simple de la carga de la columna en voladizo (Esquema Figura 29A):



(Figura 29A: Diagrama de cuerpo libre de una mesa en extensión a voladizo, tomando en cuenta el centro de gravedad de la mesa y el paciente a 20cm del pedestal con las placas estándar.)

$$F_{y\max} = 2000[N]$$

$$M_{\max} = 500 [Nm]$$

$$m_{\text{total}} = m_{\text{cama}} + m_{\text{paciente}}$$

$$m_{\text{cama}} = 90[kg]$$

$$Vel_y = 9 \left[\frac{mm}{s} \right] = 9 \times 10^{-3} \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$a_{\text{total}} = 0 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

$$Fac_{\text{seg}} = 2.5 < - \text{ Esto según el fabricante}$$

$$\Sigma_{Fy} = 0$$

$$F_{y\max} - m_{\text{total}} * g - m_{\text{total}} * a_{\text{total}} = 0$$

$$2000[N] - (90 [kg] + m_{\text{paciente}})(9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right]) = 0$$

¹⁴ Actuador lineal LA31 Careline en <http://www.linak-latinamerica.com/productos/linear-actuators.aspx?product=LA31+CARELINE> con ficha técnica en anexos de este documento

$$(m_{paciente}) = \frac{2000[N]}{9.81\left[\frac{m}{s^2}\right]} - 90 [kg]$$

$$m_{paciente} = 113.87 [Kg]$$

$$\Sigma_{MZ} = 0$$

$$M_{max} - 0.2[m] * (m_{paciente} + 90)[kg] * 9.81\left[\frac{m}{s^2}\right] = 0$$

$$m_{paciente} = \frac{500[Nm]}{9.81\left[\frac{m}{s^2}\right] * 0.2[m]} - 90 [kg]$$

$$m_{paciente} = 164.84 [kg]$$

Por lo tanto la masa máxima del paciente para que la mesa esté dentro del factor de seguridad de la columna deberá de ser de:

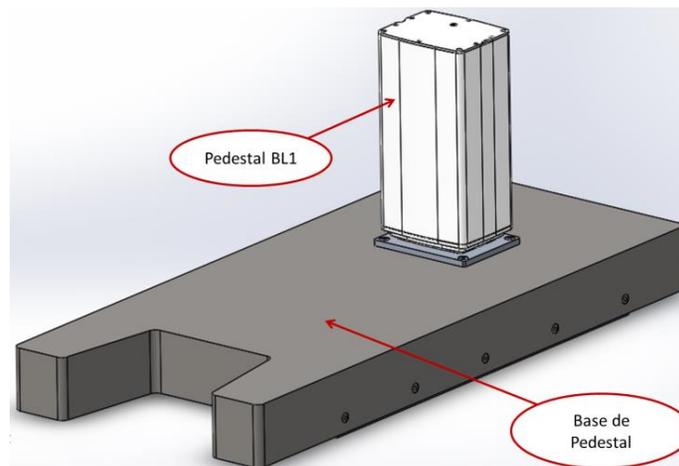
$$m_{pacienteMAX} = 113.87 [Kg]$$

Se colocará un mensaje sobre riesgos de peso de paciente si éste pesa más de 110[kg], no es recomendado subir o bajar la columna mientras dicho paciente esté sobre la mesa.

Una vez seleccionado el BL1 como columna, se dibujó el kit de placas de instalación del fabricante.

Se instaló la placa inferior al carro y a la columna con 4 tornillos M8 con 2in de largo y a la mesa con 4 tornillos M9 de 1in de largo. Se instaló la columna colocando las partes de menores dimensiones por debajo de las partes más grandes, esto para evitar que puedan entrar residuos dentro de las uniones de las piezas, y así evitar concentradores de infecciones.

Se instaló la placa superior a la columna con 4 tornillos de M8 con 2in de largo.

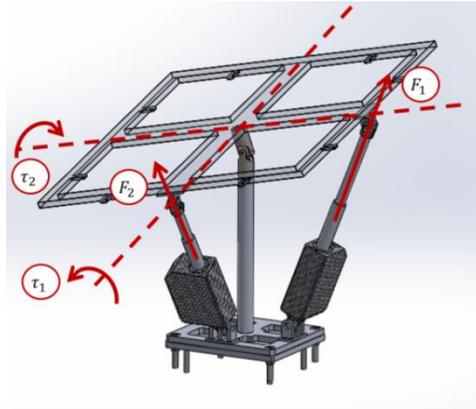


(Figura 29B: Primera iteración del pedestal y su base, a la cual se le agregarán los elementos faltantes después.)

En este punto no fue posible seleccionar un actuador en específico para las inclinaciones de la mesa pues se desconocen las cargas, se hicieron varias propuestas de cada parte y se escogió la mejor.

Para el mecanismo de inclinación de la mesa (denominados inclinación frontal y lateral):

- Primera opción en tipo robot delta de 3GDL.
- Segunda con dos actuadores en una placa con junta esférica (muy crítico para la junta)
- Tercera con dos actuadores y dos amortiguadores, con una base de junta universal como pivote.
 - Análisis del mecanismo con solo dos actuadores (Ver figura 30)

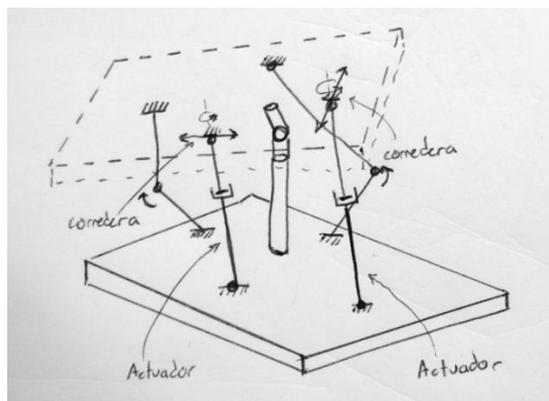


(Figura 30: Diseño conceptual de la primera prueba del mecanismo de inclinación de la mesa.)

Se dibujaron las juntas 110x simple y la 104x simple del catálogo de Transmisiones Laison®.

Después de simular mecanismo se llegó a la conclusión de que la propuesta de la figura 30 no funciona, pues los actuadores no tienen los grados de libertad adecuados para operar como deben (cuando un actuador provoca giro, el otro recibe esfuerzos de flexión).

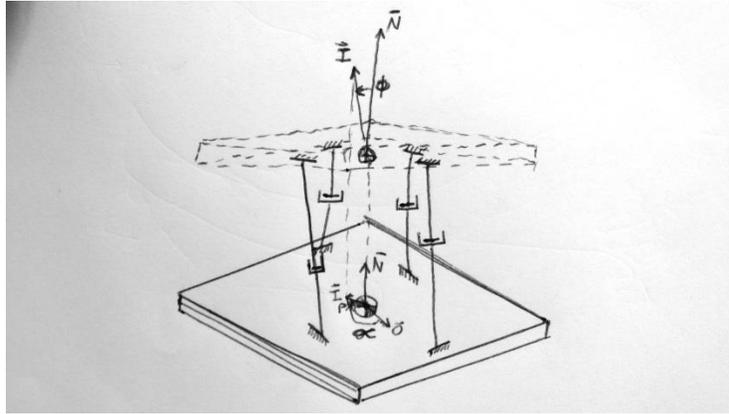
Se propone otra configuración (Ver figura 31)



(Figura 31: Diseño conceptual de mecanismo prueba para inclinación con correderas horizontales en la parte superior.)

Se llega a la misma conclusión, pues incluso agregando un par de más grados de libertad, al momento de realizar ambas inclinaciones la mesa tiende a girar, movimiento que no debe suceder.

Ahora realizamos propuesta de robot delta con 4GDL. (Ver figura 32)



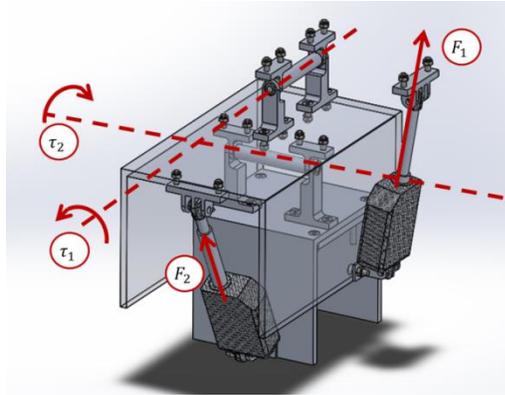
(Figura 32: Diseño conceptual de mecanismo prueba para inclinación con cuatro motores que funcionarían en tipo "delta invertido".)

La razón por la que esta configuración tampoco funciona es porque un robot delta está programado para funcionar paralelo al piso o base de sus actuadores, en el caso requerido se necesita mantener el centro en la misma posición pero con diferentes ángulos de inclinación, por lo que otra vez, el resultado final provoca que la mesa gire sobre el plano superior y no solo se incline lateral y frontalmente.

Otra razón por la cual no se usó esta configuración, es que al solo usar motores para la inclinación de la mesa, limitamos los elementos de seguridad por si alguno de estos falla.

Se propuso un nuevo mecanismo simplificado, donde existen dos placas, una encima de la otra, con un eje al centro que permitirá el grado de libertad deseado (Ver Figura 33). En este caso se seleccionaron los actuadores LA23¹⁵, los cuales son pequeños y soportan cargas hasta de 2500[N] sobre el eje del actuador.

¹⁵ Actuador lineal LA23 encontrado en <http://www.linak-latinamerica.com/productos/linear-actuators.aspx?product=LA23> con ficha técnica en los anexos de este documento.



(Figura 33: Diseño conceptual de la última prueba del mecanismo de inclinación de la mesa)

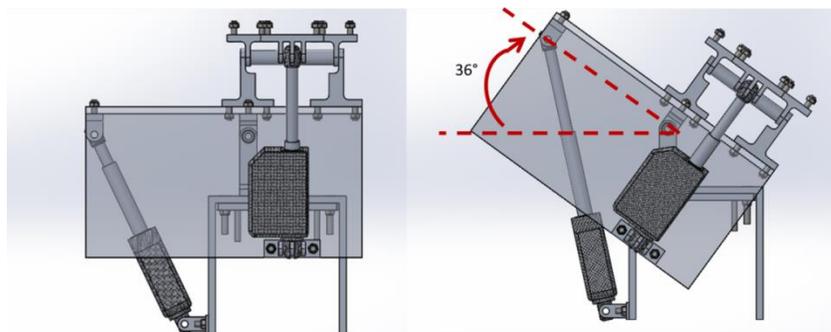
Para los ejes seleccionamos rodamientos, se eligieron los SKF® 625-2z, con una carga estática máxima de 630[N] sobre su eje cortante (carga estática pues el movimiento de los actuadores es muy lento), dado que la carga máxima será de 2000N, utilizaremos 4 por eje.

Realizó varias iteraciones del soporte del eje usando solo la carga de 1000N, y se llegó a la conclusión de que el rodamiento de pista interna de 5mm es muy pequeño para realizar el trabajo requerido. Por lo tanto se cambió al rodamiento 63800-2z, el cual tiene capacidad de carga de 1200[N] a corte.

Para simplificar el diseño, se volvió a dibujar la oreja del eje de inclinación solo con una oreja y una chumacera para soportar el rodamiento y eje.

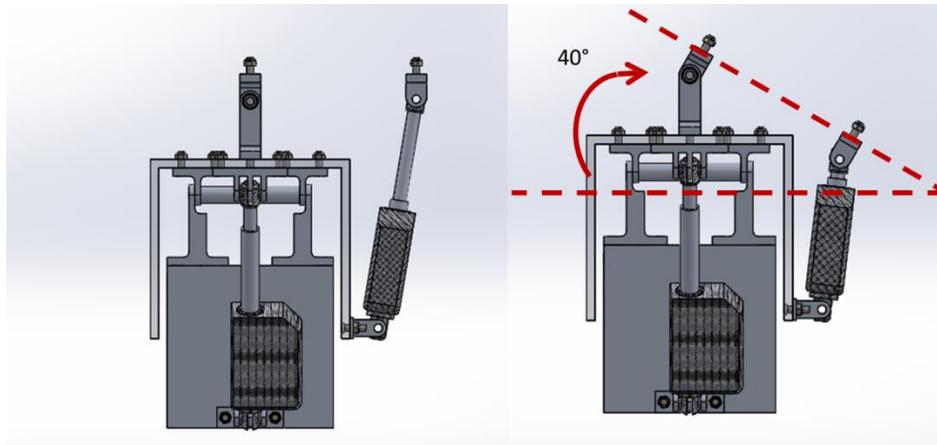
Iterando con las medidas en el modelo, se logró una inclinación lateral máxima de $\pm 36^\circ$ (Ver figura 34).

Al momento de diseñar las uniones del mecanismo se decidió que quedarán descubiertas para un fácil acceso al equipo de limpieza y así evitar concentración de bacterias o residuos.



(Figura 34: Diseño final con medidas ajustadas para el mecanismo de inclinación lateral, el cual puede dar valores de $\pm 36^\circ$)

Dado que el mecanismo parece bastante buena solución para inclinación lateral, se realizó el mismo mecanismo para la parte superior con buenos resultados, logrando una inclinación de $\pm 40^\circ$. (Ver Figura 35)



(Figura 35: Diseño final con medidas ajustadas para el mecanismo de inclinación frontal, el cual puede dar valores de $\pm 40^\circ$)

Con ayuda de asesoramiento médico, y tomando en cuenta que el seno de 30° es 0.5, se decidió que el límite de inclinación para cada mecanismo fuera de $\pm 30^\circ$.

Se continuó a diseñar la placa de cadera de la mesa, para esto usamos percentiles antropométricos de México. Estos datos son tomados de estadísticas de Estudiantes y trabajadores de la industria de la zona Metropolitana de Guadalajara¹⁶; para esto se tomó el percentil 5 de mujeres, y el percentil 50 y 95 de hombres.

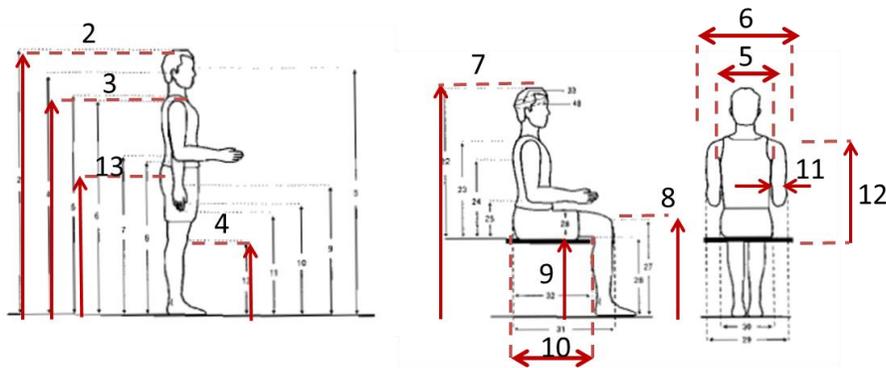
Estos datos fueron utilizados de la siguiente forma: el máximo o el mínimo (en donde sea necesario) de cada percentil en la placa respectiva como medida de especificación (+10% de tolerancia).

Los parámetros de importancia son:

Número	Nombre	Percentil		
		5	50	95
1	Peso [kg]	60.1	85.3	110.3
2	Estatura [mm]	1599	1697	1794
3	Altura de Hombro [mm]	1323	1413	1502
4	Altura de rodilla [mm]	443	483	522
5	Diámetro Bideltoides [mm]	392	450	508
6	Ancho máximo del cuerpo [mm]	499	578	656
7	Altura muslo Sentado	536	576	617

¹⁶ Ávila CH. Rosalio, Prado L. Lilia, González M. Elvia. "Dimensiones antropométricas de población Latinoamericana". Universidad de Guadalajara. Primera Edición. 2001.

	[mm]			
8	Altura de rodilla sentado [mm]	491	529	567
9	Altura poplítea [mm]	397	432	467
10	Longitud nalga-poplítea [mm]	439	482	524
11	Ancho de brazo [mm]	63.5	84.5	105.5
12	Altura de hombro sentado [mm]	535	582	638
13	Altura trocánter mayor [mm]	810	871	940



(Figura 36: Esquema de medidas antropométricas de interés)

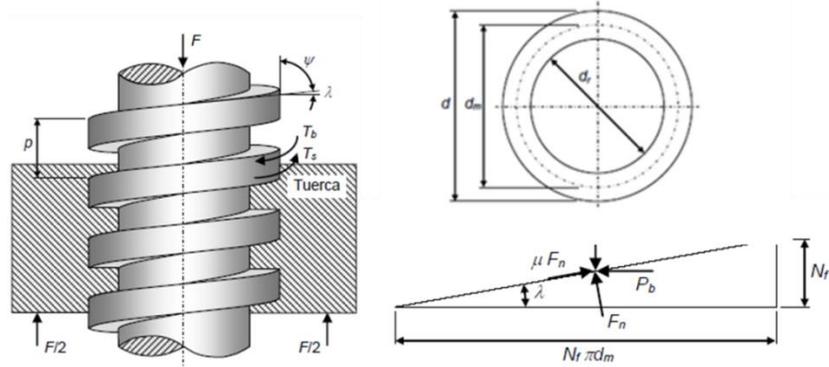
- La parte inferior de la placa de cadera incluye:
 - Mecanismo de tornillo de potencia y motor a pasos para trasladar la cama.
- La parte superior de la placa de cadera incluirá:
 - Mecanismo para reclinar la espalda y las dos placas de piernas.
 - Carril para pasar la placa de rayos X estándar
 - La placa estándar de rayos X será tomada de la placa comercial Kodak Carestream® de 35x43 cm

Se decidió para el mecanismo de traslación dos carriles de tornillo sin fin de potencia controlados por motores a pasos, cada uno soportado por dos ejes con cojinetes lineales para evitar fricción por el peso de la mesa.

Se calculó el par que debe de tener cada motor, para esto se considera la siguiente teoría:

Según el capítulo 8 del libro “Diseño de Elementos de Máquinas” de Faïres:

Para calcular la potencia que se necesita para girar un tornillo de potencia, las ecuaciones y el diagrama son:



(Figura 37: A la izquierda el esquema del tornillo de potencia, donde se marcan el paso p , el ángulo de avance α , Fuerza a cargar F , y par de avance T_s , a la derecha se ve el diagrama donde se muestra el diámetro medio del tornillo d_m , y el diagrama de cuerpo libre de la cuerda del tornillo en punto de contacto con la carga.)

Donde:

p = paso del tornillo

F = Carga normal al tornillo

F_{Tan} = Fuerza tangente a la cuerda

T_s = Par requerido para girar el tornillo

μ = Coeficiente de fricción en hilo de tornillo

d_m = Diámetro medio de cuerda

λ = Ángulo de avance

Y se tiene para una cuerda cuadrada:

$$\tan(\lambda) = \frac{p}{\pi d_m} \dots(1)$$

$$F_{Tan} = F \frac{\tan(\lambda) + \mu}{1 - \mu \tan(\lambda)} \dots(2)$$

$$T_s = F_{Tan} \left(\frac{d_m}{2} \right) \dots(3)$$

Sustituyendo la ecuación (1) en (2) se obtiene:

$$F_{Tan} = F \frac{\frac{p}{\pi d_m} + \mu}{1 - \mu \frac{p}{\pi d_m}}$$

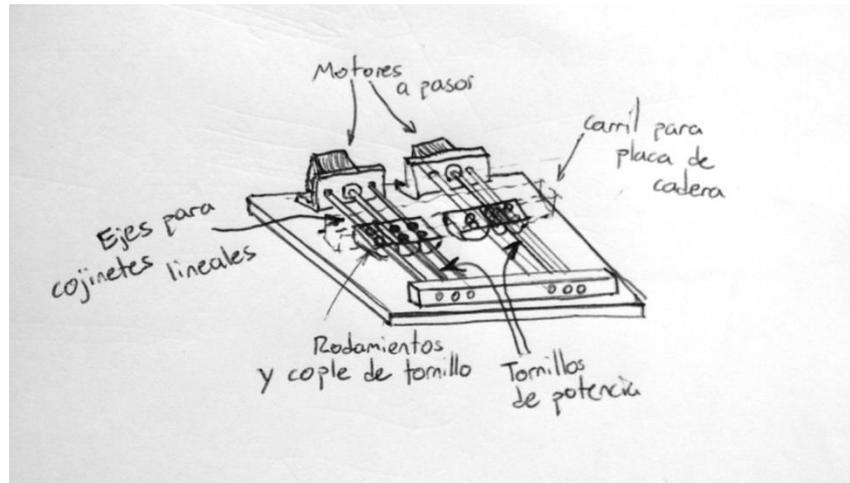
$$F_{Tan} = F \frac{\frac{p + \mu \pi d_m}{\pi d_m}}{\frac{\pi d_m - \mu p}{\pi d_m}}$$

$$F_{Tan} = F \frac{p + \mu \pi d_m}{\pi d_m - \mu p}$$

Y sustituyendo en la ecuación (3):

$$T_s = F \left(\frac{d_m}{2} \right) \frac{p + \mu \pi d_m}{\pi d_m - \mu p} \dots (A)$$

A continuación, se muestra el esquema conceptual de diseño del sistema



(Figura 38-A: Esquema del diseño conceptual del carro para traslación de la mesa.)

Se inició el proceso de selección de componentes a partir de la selección de los cojinetes que se van a utilizar.

- Ya que el carro tendrá que soportar una gran carga cortante sobre los ejes se seleccionarán los cojinetes lineales más largos posibles, además de un diámetro considerable.
- A partir del catálogo de SKF LINEAL® se escogió el **LTBR 20-2LS®** el cual tiene una longitud de 65mm, un diámetro de eje de 20mm, y soporta una carga a cortante de 1600N.
- Al ser cojinetes en tándem dobles de bolas, el mismo catálogo de SKF® indica que tiene un coeficiente de fricción $\mu_{rod} = 0.0024$.

Ahora se muestran los cálculos para tres diferentes tamaños de tornillos de potencia:

- 5/8, 3/4, y 7/8 pulgadas de diámetro, cuyos hilos por pulgada (hpp) son 5.5, 5 y 4.5 respectivamente. Se procede a calcular el paso (p) y el diámetro medio (d_m):

$$p = \frac{2.54}{hpp} [cm]$$

$$d_m = d - \frac{7}{16} p$$

Por lo tanto:

$$p_{\frac{5}{8}} = 0.461[cm] \quad d_{m_{\frac{5}{8}}} = 1.345[cm]$$

$$p_{\frac{3}{4}} = 0.508[cm] \quad d_{m_{\frac{3}{4}}} = 1.682[cm]$$

$$p_{\frac{7}{8}} = 0.564[cm] \quad d_{m_{\frac{7}{8}}} = 1.975[cm]$$

Después, pensando que no habrá lubricantes en el tornillo de potencia puesto que sería antihigiénico, se obtuvo a partir de tablas del libro RILEY, F. William. "Ingeniería Mecánica, Dinámica" el coeficiente de fricción entre el aluminio y el acero (el soporte de la cama sobre la que corre el tornillo es considerado de aluminio aeroespacial) es de:

$$\mu = 0.61$$

Ahora, considerando que en la figura 37, la mesa tiene una inclinación de 35° en plano lateral, **los dos motores** en conjunto cargarían la componente $\text{sen}(35^\circ)$ del peso total de la mesa con el paciente y la fuerza de fricción normal de los cojinetes:

$$F = \frac{m_{tot} \text{sen}(35^\circ) + \mu_{rod} * m_{tot}}{2}$$

$$F = \frac{203[kg] * \text{sen}(35^\circ) + 0.0024 * 203[Kg]}{2}$$

$$F = 58.461[Kgf]$$

Sustituyendo en la fórmula (A) los valores anteriores:

$$T_{s_{\frac{5}{8}}} = 30.29[Kgcm]$$

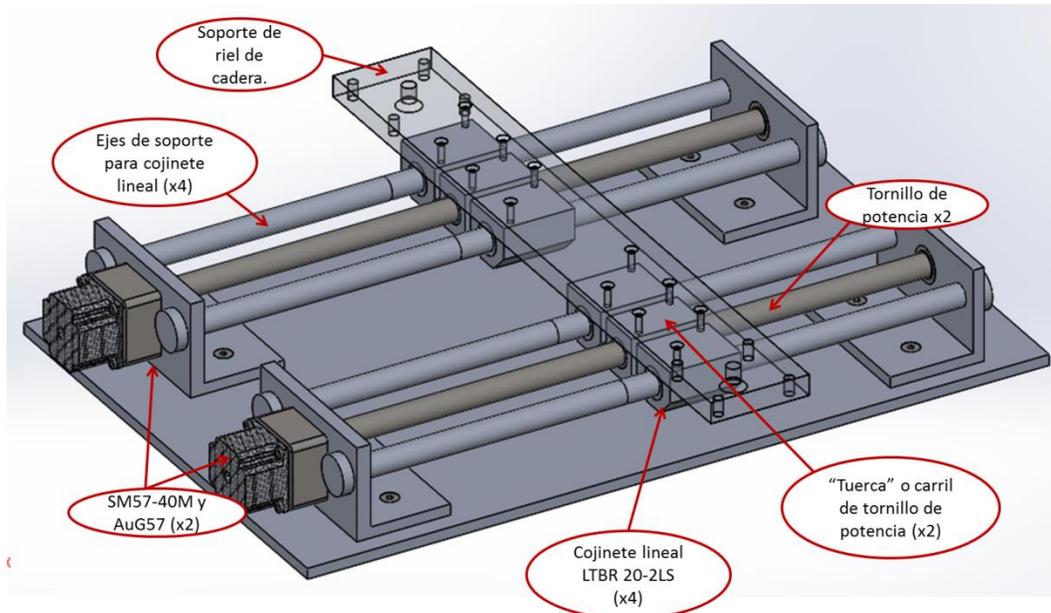
$$T_{s_{\frac{3}{4}}} = 36.88[Kgcm]$$

$$T_{s_{\frac{7}{4}}} = 42.84[Kgcm]$$

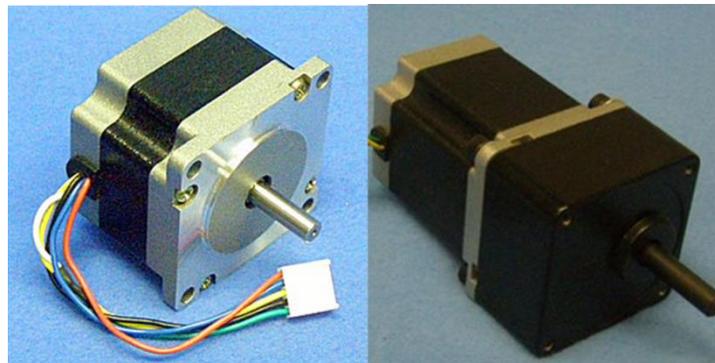
Bajo este criterio se pueden escoger dos diferentes motores a pasos:

- El primero es utilizar el motor a pasos SM86-80 de Excitron® (marca común de motores a pasos disponibles en Latinoamérica), el cual entrega un par de salida de $\tau_{SM8680} = 50.35[kgcm]$, siendo un 39.80% más del par requerido en máxima inclinación.
- La otra opción es el motor a pasos SM57-40M de Excitron®, el cual entrega un par de salida de $\tau_{SM5740M} = 8.78[kgcm]$, pero el distribuidor da la oportunidad de ordenar una caja de engranes con relación 5:1 (AuG57), por lo que se tendría un par de salida de $\tau_{SM5740M51} = 43.90[kgcm]$, siendo un 19% más del par requerido en máxima inclinación.

Se eligió el motor SM57-40M y la caja de engranes AuG57 de Excitron® como actuadores del sistema de traslación de la mesa, debido a que su costo es menor al del actuador SM86-80, además de ser más ligero.



(Figura 38-B: Diseño en CAD del carril que permitirá traslación de la mesa sobre el pedestal y el mecanismo de inclinación.)

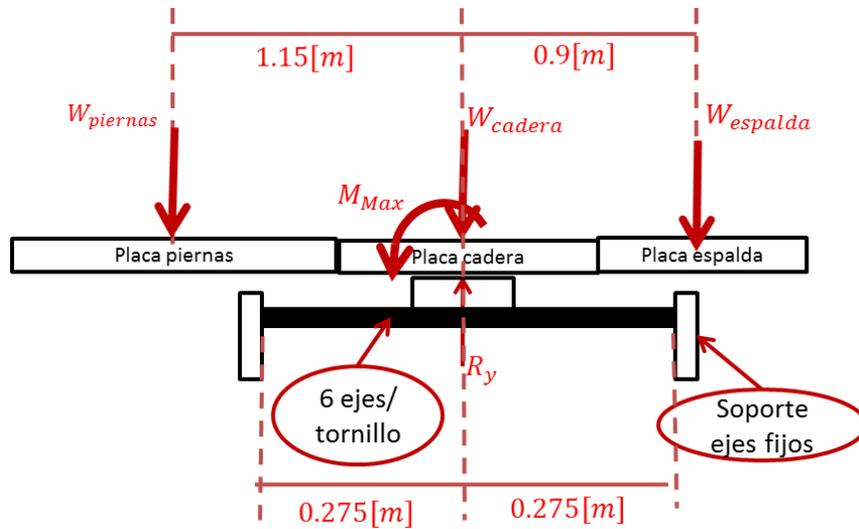


(Figura 39: A la izquierda tenemos una imagen del Excitron® SM57-40M, a la derecha el motor de la misma marca con la caja de engranes AuG57.)

Se dibujaron los dos motores a pasos, los cuatro LTBR 20-2LS, 4 ejes de 20mm, cuatro soportes para los ejes, y dos tornillos de potencia de 3/4 in de diámetro, tal cual se muestra en la figura 38-B.

Se comprobó el diámetro de los ejes y tornillo, por medio de cálculos de flexión en los ejes y analizando por elemento finito hasta obtener un buen factor de seguridad (mayor a 2.5).

Para el cálculo de fuerzas de entrada se muestra el siguiente diagrama (Figura 40):



(Figura 40: Diagrama de cuerpo libre para la obtención de fuerzas y momentos sobre cada cojinete/tornillo del riel de traslación.)

De acuerdo con las proporciones de medidas de cadera, espalda y piernas del cuerpo humano se obtiene:

$$W_{piernas} = 0.43 * m_{total} * g$$

$$W_{cadera} = 0.25 * m_{total} * g$$

$$W_{espalda} = 0.31 * m_{total} * g^{17}$$

- Y la suma de fuerzas en “y”, y momentos en “z”:

$$\Sigma F_y = W_{piernas} + W_{cadera} + W_{espalda} - 6R_y = 0$$

$$R_y = \frac{203[kg]g}{6}$$

$$R_y = 331.905[N] \leftarrow \text{Por eje.}$$

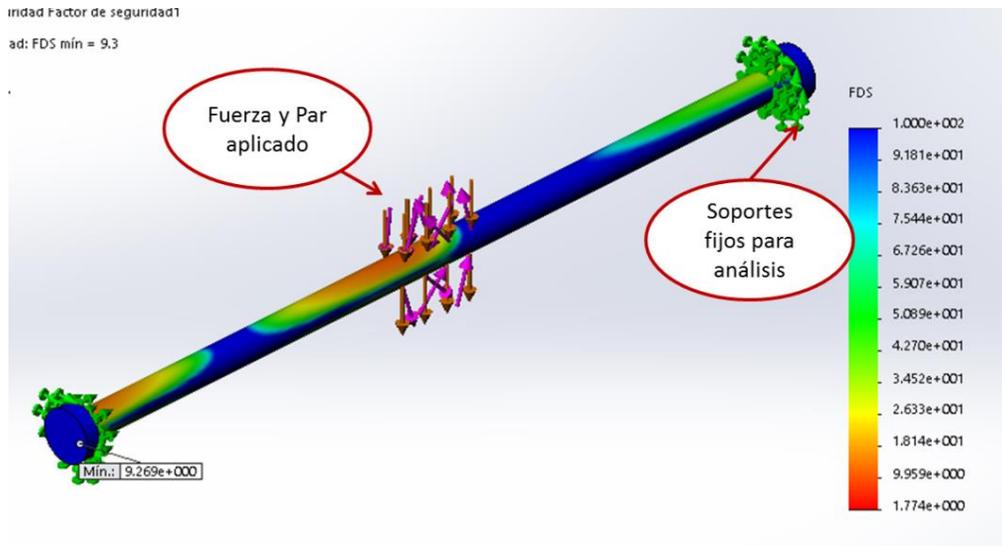
$$\Sigma M_z = \frac{(1.150)(200)(0.43)(9.81)[Nm]}{2} - \frac{(0.9)(200)(0.31)(9.81)[Nm]}{2} - 6M_z = 0$$

$$M_z = 34.53[Nm] \leftarrow \text{Por eje.}$$

Se realizó un análisis por elemento finito de cada eje con dichas cargas calculadas, los resultados que arrojó mostraron un factor de seguridad mínimo de $F.s. = 9.269$ si éste es aplicado en Aluminio 7075-T6 (aluminio aeroespacial disponible en México) y una

¹⁷ Estas proporciones son demostradas en la sección de validación de diseño en el siguiente capítulo.

deformación elástica máxima de 0.119[mm]. Este resultado se obtuvo a partir de colocar la carga en el centro del eje a lo largo de los 60mm del cojinete. (Resultado en la figura 41)

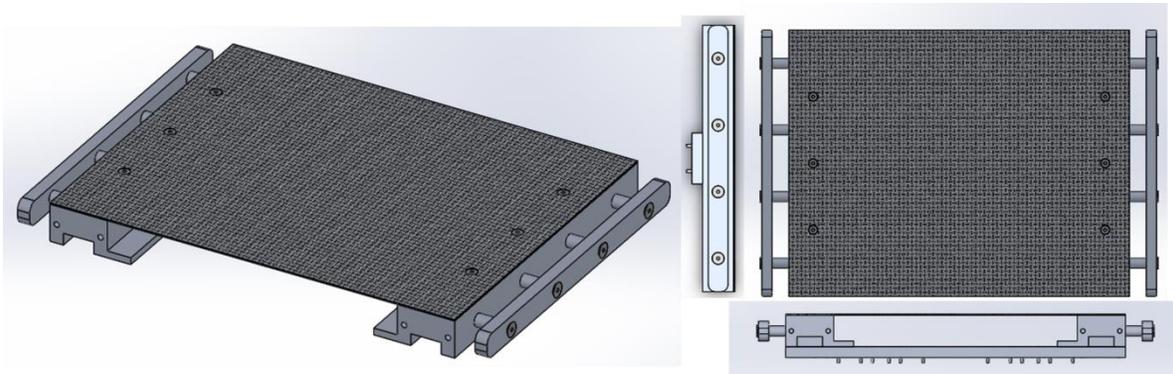


(Figura 41: Resultado de análisis de elemento finito sobre un eje del carril de traslación de la mesa.)

Por encima de cada cojinete y cople de tornillo de potencia (éstos deben estar alineados, además de que el control de los motores deberá estar sincronizado) existe una placa rectangular en la cual a partir de sus extremos se atornillarán las vigas de la placa de cadera.

Esta placa superior de cadera debe incluir:

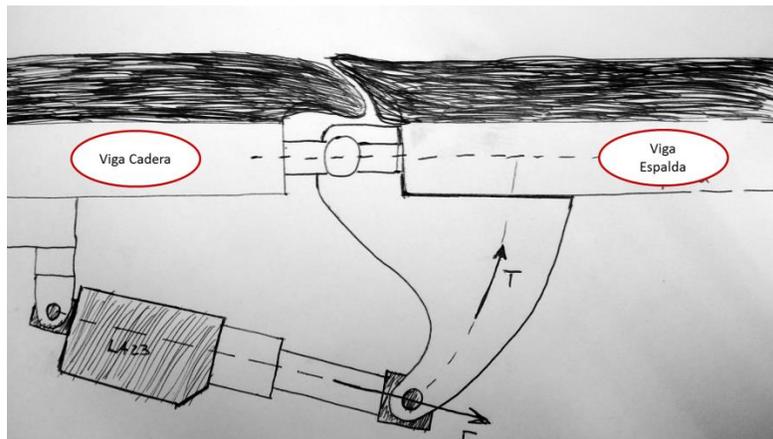
- Entradas en extremos para placa de espalda y piernas.
- Carril de placas de rayos X y barras de accesorios.
- La parte central fue considerada de fibra de carbono (Twill 3k® disponible en México) debido a su bajo peso y radiotransparencia, permitiendo operar con arco en C (máquina utilizada para intervenciones radiológicas).
- Para las medidas de la placa se basó en el percentil 50 de distancia nalga poplíteo para su largo y su ancho en el ancho máximo del cuerpo en percentil 95 (525 mm y 656 mm respectivamente), incluyendo las medidas ya mencionadas del carril interno para la placa de radiografía. Los detalles de la estructura pueden verse en la figura 42.



(Figura 42: Diseño estructural de la placa de cadera, en la cual se pueden observar las vigas de soporte, los carriles de accesorios, la base de fibra de carbono y el carril inferior para colocar la placa para rayos X.)

Se procedió a colocar actuadores los cuales se encuentran en la placa de cadera para levantar la espalda del usuario.

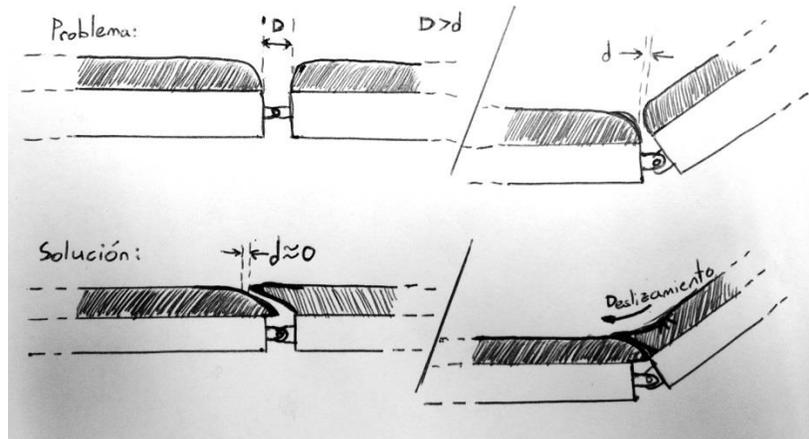
- Se integran por debajo de las vigas de aluminio (esto para facilitar la manufactura)
- Se utilizarán los mismos motores LA23® usados en la inclinación de la mesa.
- Funcionarán por medio del mecanismo esquematizado en la siguiente figura (Figura 43) e inspirado en la figura 20 de la sección estudio de mercado.



(Figura 43: Diseño conceptual de mecanismo de inclinación de espalda desde vista lateral.)

Para longitud de placa de espalda se tomó en cuenta el percentil 50 de altura de hombro sentado (580 [mm]), esto ya que la placa de cabeza podrá ser extendida o retraída a diferentes alturas con respecto a la de la espalda.

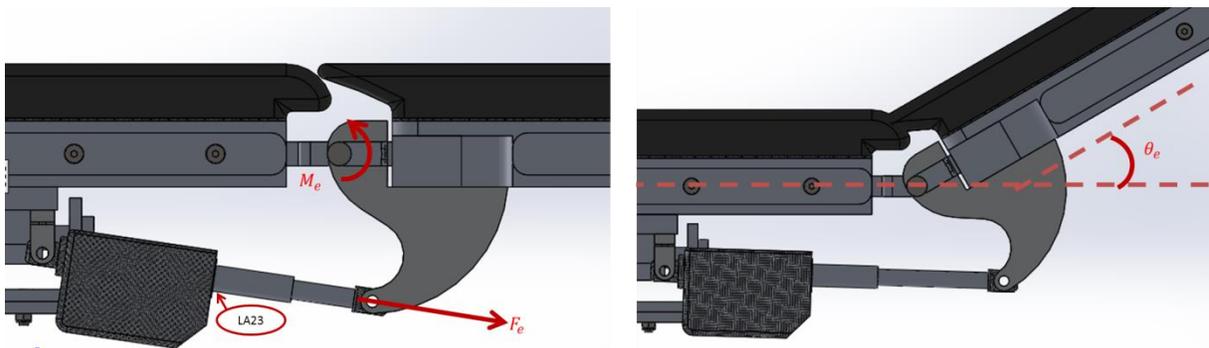
Un detalle adicional: si se utilizan dos colchones rectos y mantenemos la inclinación entre dos placas de 180° , el espacio entre uno y otro sería muy grande, dejando un vacío, y al inclinarse a ángulos entre 180° y 90° este espacio provocaría que el paciente pueda lastimarse o pellizcarse, la solución a la que se llegó para evitar esto se muestra en la figura siguiente (Figura 44):



(Figura 44: Diseño conceptual de forma final de un colchón para evitar lastimar al paciente.)

Para la manufactura de estas colchonetas se deberá usar soldadura de plástico por encima de las costuras para que estas queden bien selladas y no presenten concentradores de infecciones o bacterias.

Se dibujó el mecanismo y la placa de espalda en el ensamble completo, se verificaron las medidas de las piezas y distancias de posicionamiento para maximizar los grados de inclinación. (Ver figura 45)



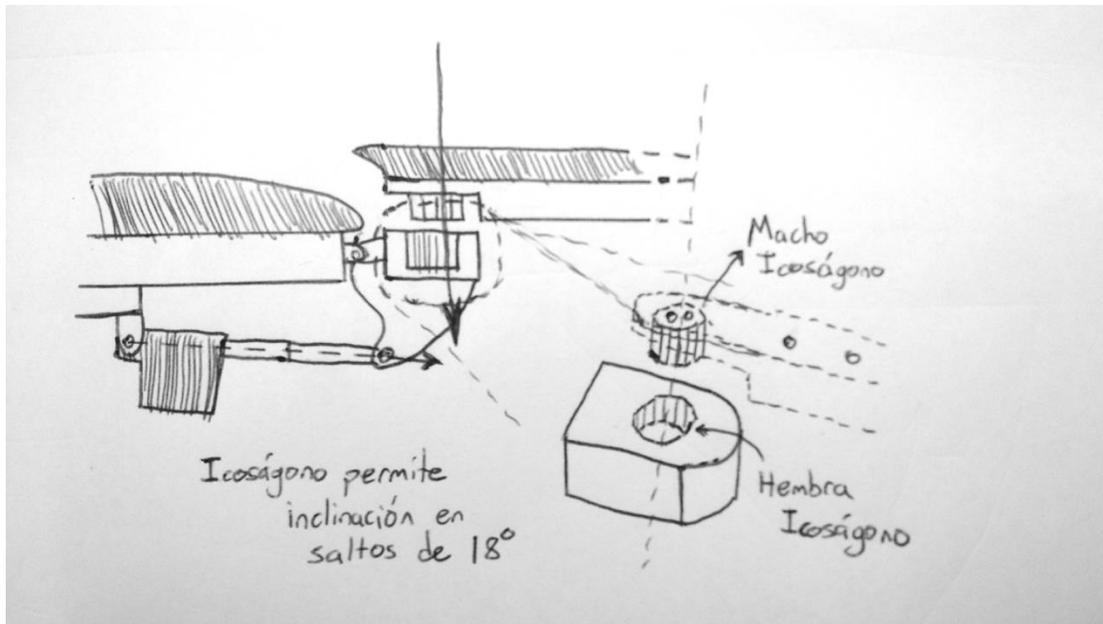
(Figura 45: Diseño Final de mecanismo de inclinación de espalda.)

Se logró una inclinación θ_e de -50.86° , y $+85.2^\circ$. El análisis de cargas del mecanismo será mostrado más adelante en la sección de validación.

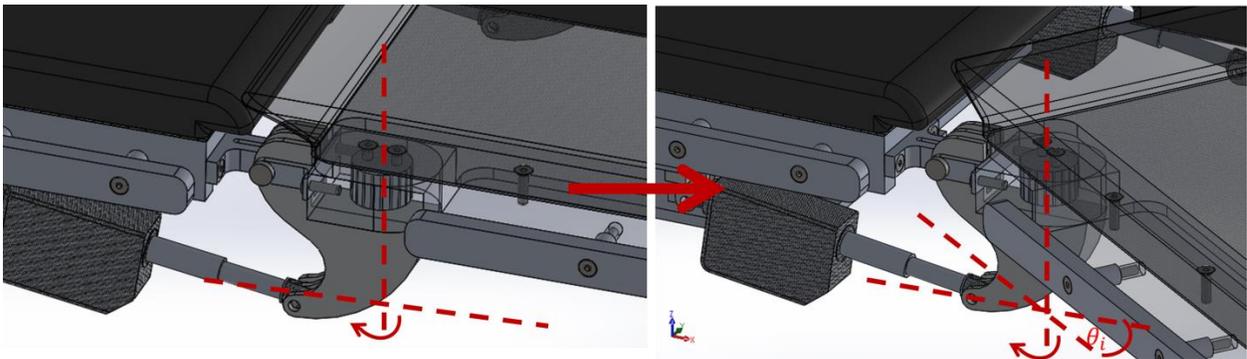
Las uniones de cada mecanismo de inclinación fueron diseñadas de dimensiones entre 10×15 cm de área, y de 10cm de alto para que estos puedan ser limpiados con facilidad y no presenten concentradores de infecciones.

Se dibujaron las placas de piernas, cuyas longitudes se basaron a partir del dato de altura trocánter mayor en percentil 95 (940 mm).

Se bosquejó el mecanismo de cada placa, el cual permite que pueda tener una inclinación con respecto al plano superior (Ver figura 46A).



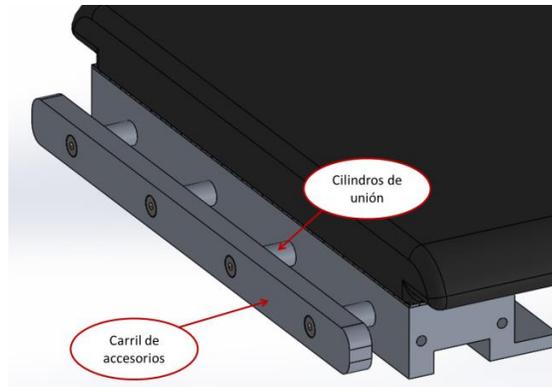
(Figura 46A: Diseño conceptual del mecanismo de inclinación superior de placa de pierna.)



(Figura 46B: Diseño Final de mecanismo de inclinación superior para una placa de pierna.)

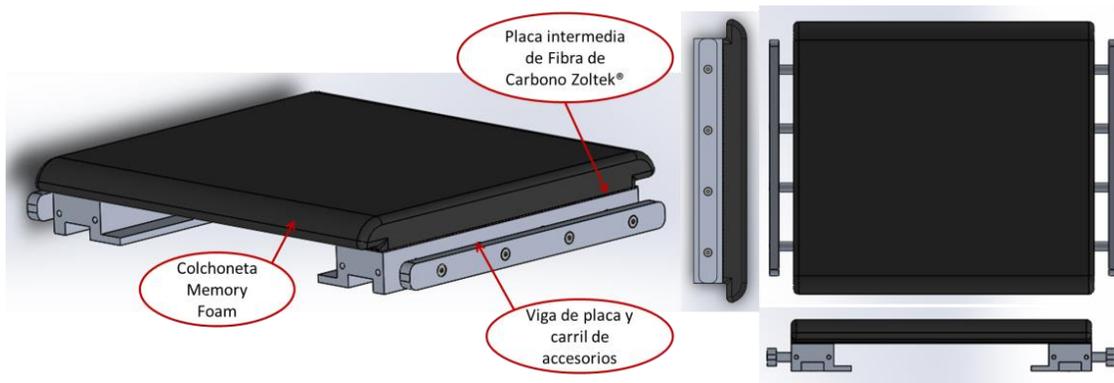
Con la figura mostrada en forma de icoságono (polígono de 20 lados) se puede inclinar desde vista superior cada placa de pierna independientemente cada 18° , con tan solo levantar y volver a recolocar la placa.

Se diseñó la barra de accesorios. Ésta, como su nombre lo indica, es una barra alargada sobre la cual se puede conectar cualquier accesorio a la mesa con la ayuda de los soportes estándar o articulado; con una longitud igual a la de cada placa, se acopla por medio de cilindros de aluminio a cada viga lateral, su espesor es de 18mm, y se puede observar a continuación:

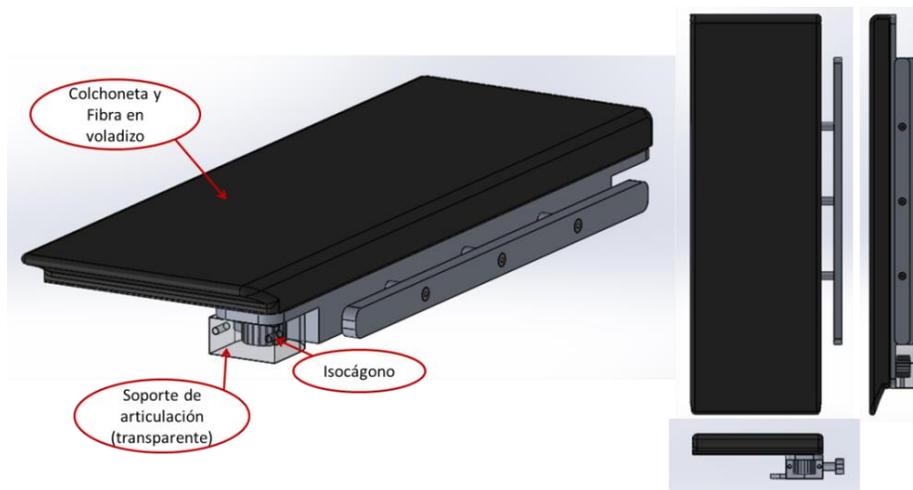


(Figura 47: Diseño Final de carril de accesorios, debidamente ensamblada a la placa de cadera.)

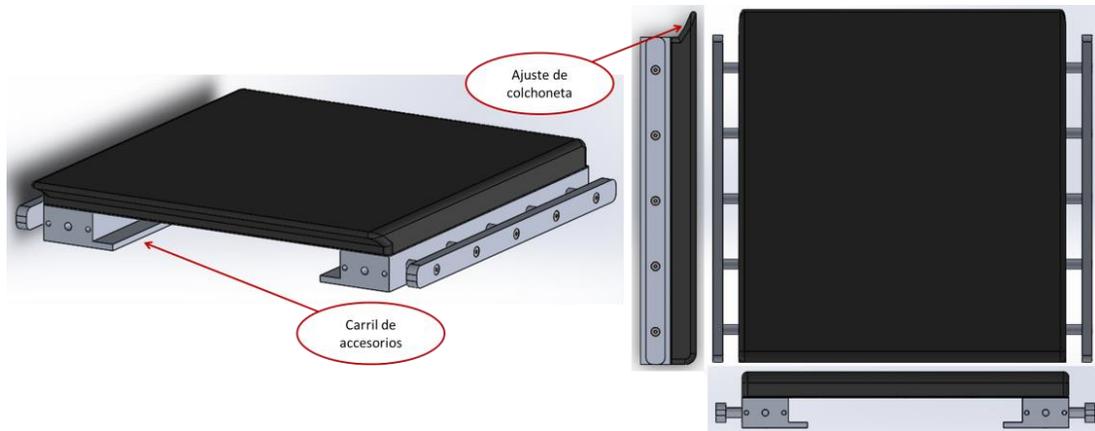
Teniendo listos todos los actuadores y mecanismos, se pudo definir el diseño final de cada una de las placas principales, las cuales se dibujaron con las medidas ya mencionadas en las tablas antropométricas y que se muestran a continuación:



(Figura 48: Diseño Final de la placa de cadera.)

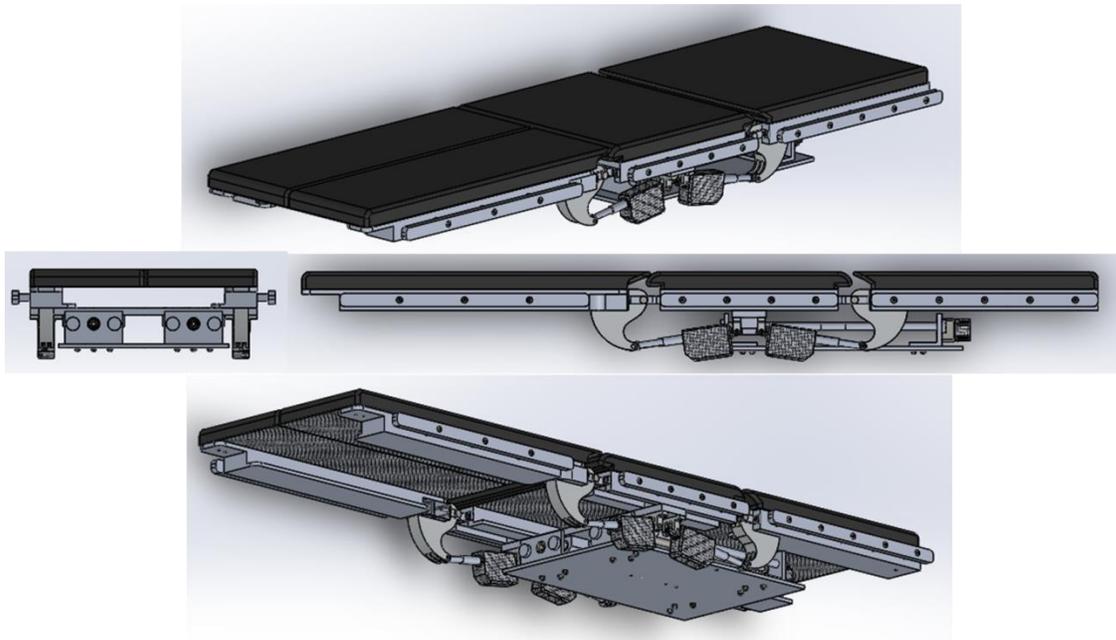


(Figura 49: Diseño Final de la placa de pierna derecha.)



(Figura 51: Diseño final de la placa de espalda.)

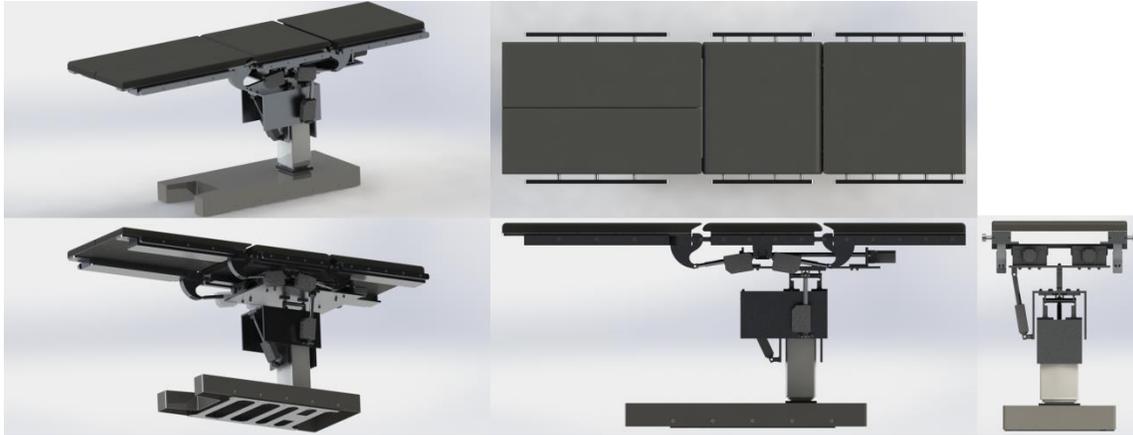
Una vez terminado el diseño de cada placa y mecanismo, se procedió a ensamblar toda la parte superior de la mesa, desde el mecanismo de inclinación hasta cada una de las placas con sus colchonetas, el resultado se puede ver en la siguiente imagen:



(Figura 52: Ensamblaje final de la parte superior de la mesa, la cual incluye las cuatro placas principales, los mecanismos de inclinación y de traslación frontal.)

Durante el ensamble se hizo énfasis en dejar relaciones de posición necesarias para poder controlar virtualmente los grados de libertad de la parte superior de la mesa.

Se ensambló la parte superior de la mesa al ensamblaje del pedestal, el cual se muestra como un “render” en la siguiente imagen:



(Figura 53: Render del ensamblaje final de la mesa sin carro, visto en varias perspectivas.)

Teniendo este diseño básico se procedió a revisar diferentes posiciones para comprobar digitalmente su funcionamiento, las imágenes a continuación muestran algunos de los resultados en forma de “render”:



(Figura 54: Render del ensamblaje final de la mesa sin carro, con posiciones variables donde se puede notar el funcionamiento de cada uno de los actuadores, mostrando que la mesa puede adoptar las posiciones requeridas.)

En un punto inicial, la parte superior de la mesa mostraba una masa de 130kg; ya que por requerimiento del pedestal seleccionado y los cálculos realizados no es posible tener una mesa de más de 90kg, se optimizó la masa de las vigas y los componentes para que la masa total disminuyera.

Se logró reducir la masa hasta 87 [kg], el siguiente paso fue analizar las cargas en cada pieza de cada placa y obtener las cargas de cada mecanismo para validar los factores de seguridad de cada pieza, especialmente en las orejas que unen cada placa.

XI. ANÁLISIS DE CARGAS

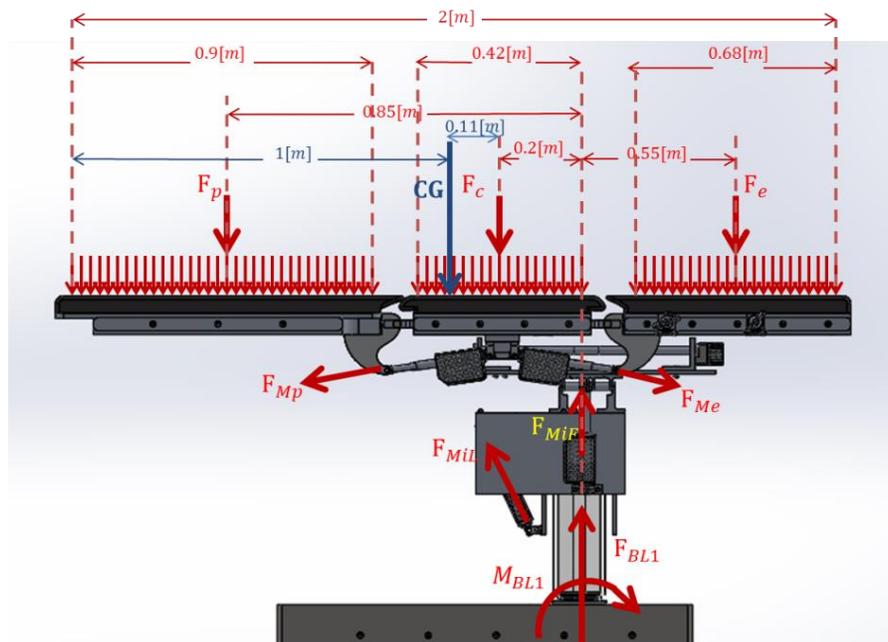
Se realizó un análisis de entradas y salidas de fuerzas y pares de cada pieza a partir de una posición generalizada:

- La mesa en voladizo, es decir, con el carro de traslación a máxima distancia.
- Todas las cargas verticales serán tomadas en cuenta con la mesa en horizontal.
- Para los mecanismos de inclinación de espalda, pierna, frontal, y lateral general, se realizó un programa en Wolfram Mathematica® que obtuviera curvas de cargas en cada ángulo de operación.
- No se analizó el esfuerzo del carril de traslación, pues éste fue calculado y demostrado durante la sección anterior.

A partir de los resultados de cargas y pares obtenidos en cada pieza se realizó análisis de elemento finito, esto para evaluar el factor de seguridad de cada pieza; si el factor de seguridad presentado resultaba ser menor a 2.5, ésta sería optimizada y reanalizada hasta que el resultado mostrara un factor de seguridad mayor; si este factor de seguridad resultaba muy alto y la geometría de diseño y el método de manufactura lo permitía, la pieza sería optimizada para reducir su masa.

Dada la gran cantidad de piezas en esta tesis y ya que casi todas fueron optimizadas en más de una ocasión, se mostrarán únicamente los cálculos para obtener las cargas en cada pieza y los resultados de elemento finito en la última iteración de éstas.

Se inició el proceso de análisis realizando el diagrama de cuerpo libre general, con la mesa en posición horizontal:



(Figura 55: Diagrama de cuerpo libre donde se muestran las fuerzas de la mesa, paciente, y las aplicadas por los actuadores.)

De la figura se puede observar que las fuerzas F_p , F_c y F_e son las fuerzas totales en las placas causadas por el peso de la cama y el paciente en las piernas, cadera, y espalda, respectivamente. Es decir:

$$F_{total} = W_{paciente} + W_{mesa} = 113[Kg] + 87[kg] = F_p + F_c + F_e$$

Donde la distribución del peso total, entre las tres fuerzas, será considerada proporcional al cociente de la longitud de cada placa, entre la longitud total de la mesa, esto es:

$$\text{Piernas: } F_p = F_{total} \frac{0.85[m]}{2[m]} = F_{total}(0.425) = 85[Kgf] \left[9.81 \frac{m}{s^2} \right] = 834[N]$$

$$\text{Cadera: } F_c = F_{total} \frac{0.45[m]}{2[m]} = F_{total}(0.225) = 45[Kgf] \left[9.81 \frac{m}{s^2} \right] = 442[N]$$

$$\text{Espalda: } F_e = F_{total} \frac{0.58[m]}{2[m]} = F_{total}(0.29) = 58[Kgf] \left[9.81 \frac{m}{s^2} \right] = 569[N]$$

A continuación, se encontraron los valores finales de la carga en la columna BL1, cuyo límite de fuerza vertical es de $F_{yMAX} = 2000[N]$ y su momento máximo de $M_{zMAX} = 500[Nm]$.

$$\Sigma_{Fy}: F_{BL1} = F_p + F_c + F_e; \quad 834[N] + 442[N] + 569[N] = 1845[N]$$

$$(F_{BL1} = 1845[N]) < (F_{yMAX} = 2000[N])$$

$$\Sigma_{Mz}: M_{BL1} = (F_p)(0.95[m]) + (F_c)(0.2[m]) - (F_e)(0.45);$$

$$M_{BL1} = (834[N])(0.95[m]) + (442[N])(0.2[m]) - (569[N])(0.55[m]) = 484.35[Nm]$$

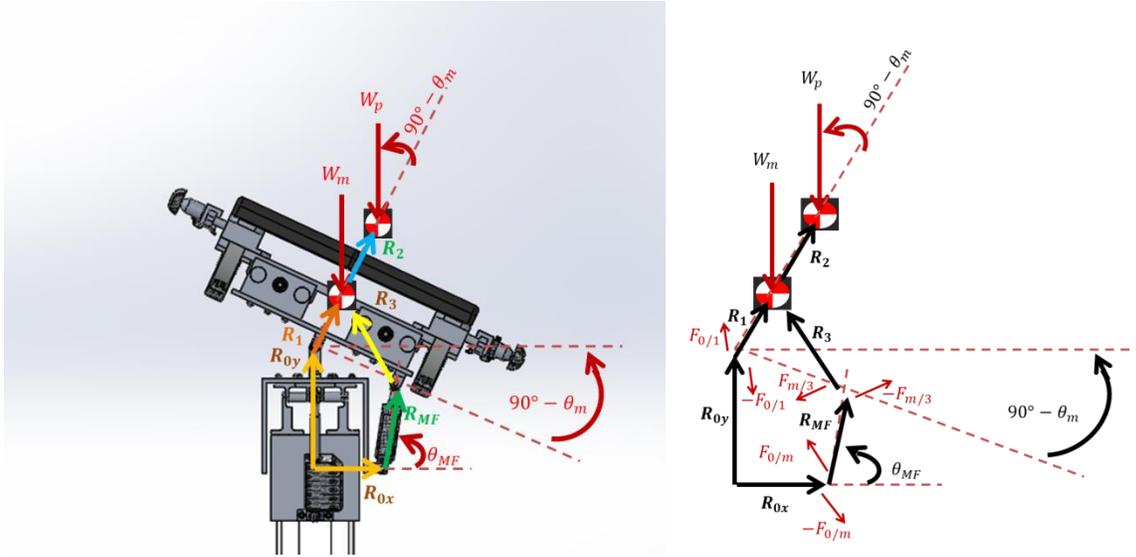
$$(M_{BL1} = 484.35[Nm]) < (M_{zMAX} = 500[Nm])$$

Se concluyó de este análisis que la operación de la columna BL1 se encuentra dentro de sus parámetros límite y por lo tanto que el pedestal está en rango de factor de seguridad de 2.5.

Después, se calculó la carga total en los mecanismos de inclinación, iniciando con el frontal.

Para cada mecanismo de inclinación se utilizó teoría de mecanismos y dinámica de maquinaria, es decir, se analizaron los vectores de los componentes en movimiento y después se calcularon las fuerzas en sus uniones para cada grado de inclinación de la mesa, luego se graficaron estas cargas y se analizaron las uniones para el caso de carga más grande resultante de cada gráfica.

El diagrama de cuerpo libre del mecanismo de inclinación frontal es:



(Figura 56. Izquierda. Diagrama de mecanismo de inclinación frontal, donde se muestran los vectores de posición de cada unión y de los centros de gravedad de la mesa y paciente. Derecha. Diagrama de cuerpo libre sobre las reacciones en cada unión del mecanismo).

A partir del diagrama se consideran los vectores con sufijo “0” como la tierra del mecanismo, el vector “MF” como el vector con distancia variable del actuador lineal, el vector 1 que parte de la junta de inclinación hacia el centro de gravedad de la mesa, el vector 2 que llega al centro de gravedad del paciente (considerado 15cm por encima de la mesa para simplificar el problema) y el vector 3 que permite unir el vector del motor MF con el centro de gravedad de la mesa.

La ventaja del lazo seleccionado es que permite controlar todo a partir de tres variables: la distancia del actuador, el ángulo del actuador y el ángulo del vector normal a la superficie de la mesa (al cuál se referencian los vectores 1-3).

Para el análisis dinámico solo se tomaron en cuenta fuerzas en las orejas que unen el mecanismo (F_{01} , F_{0M} , F_{M3}), y ya que son juntas rotacionales éstas no presentan momentos. Además, solo se tomó en cuenta la masa del motor (m_{MF}), la masa e inercia rotacional de la mesa (m_m , e IG_m) y la masa e inercia rotacional del paciente (m_p , IG_p).

Los valores numéricos de distancias, ángulos de operación, ecuaciones de lazo y ecuaciones dinámicas utilizadas para el análisis son mostrados a continuación:

$$\vec{R}_{0x} = (x_0, 0, 0); \text{ Donde } x_0 = 0.154[m].$$

$$\vec{R}_{0y} = (0, y_0, 0); \text{ Donde } y_0 = 0.272[m].$$

$$\vec{R}_{MF} = Rz[\theta_{MF}] \cdot \vec{r}_{MF}; \text{ Donde } Rz[\theta_{MF}] \text{ es la matriz de rotación con respecto a } \theta_{MF}, \text{ y } \vec{r}_{MF} = (x_{MF}, 0, 0), \text{ con } x_{MF} \text{ como variable a analizar.}$$

$\vec{R}_1 = Rz[\theta_m].\vec{r}_1$; Donde $Rz[\theta_m]$ es la matriz de rotación con respecto a θ_m , y $r_1 = (x_1, 0, 0)$, con $x_1 = 0.120[m]$.

$\vec{R}_2 = Rz[\theta_m].\vec{r}_2$; Donde $\vec{r}_2 = (x_2, 0, 0)$, con $x_2 = 0.270[m]$.

$\vec{R}_3 = Rz[\theta_m].\vec{r}_3$; Donde $\vec{r}_3 = (y_3, x_3, 0)$, con $x_3 = 0.120[m]$, y $y_3 = 0.1175[m]$.

Se obtuvieron también los vectores de velocidad y aceleración del mismo lazo:

$\vec{V}_{MF} = vx_{MF} * \vec{I} + \vec{\omega}_{MF} \times \vec{R}_{MF}$, donde vx_{MF} es la magnitud de velocidad lineal del motor ($vx_{LA23} = 2.5[mm/s]$), \vec{I} es el vector unitario, y $\vec{\omega}_{MF}$ es la velocidad angular en la junta del motor con la tierra (pedestal).

$$\vec{V}_1 = \vec{\omega}_m \times \vec{R}_1$$

$$\vec{V}_2 = \vec{\omega}_m \times \vec{R}_1$$

$$\vec{V}_3 = \vec{\omega}_m \times \vec{R}_1$$

$$\vec{V}_0 = (0, 0, 0)$$

Donde $\vec{\omega}_m$ es la velocidad angular de la mesa y el paciente al girar.

$$\vec{A}_{MF} = ax_{MF} * \vec{u}_{MF} + 2 * \vec{\omega}_{MF} \times (vx_{MF} * \vec{u}_{MF}) + \vec{\alpha}_{MF} \times \vec{R}_{MF} - \omega_{MF}^2 * \vec{R}_{MF};$$

$\vec{A}_{MF} = ax_{MF} * \vec{I} + 2 * \vec{\omega}_{MF} \times (vx_{MF} * \vec{I}) + \vec{\alpha}_{MF} \times \vec{R}_{MF} - \omega_{MF}^2 * \vec{R}_{MF}$, donde ax_{MF} es la aceleración lineal del actuador (considerada cero), y α_{MF} es la aceleración angular del motor en la junta con la tierra.

$$\vec{A}_1 = \vec{\alpha}_m \times \vec{R}_1 - \omega_m^2 \times \vec{R}_1;$$

$$\vec{A}_2 = \vec{\alpha}_m \times \vec{R}_2 - \omega_m^2 \times \vec{R}_2;$$

$$\vec{A}_3 = \vec{\alpha}_m \times \vec{R}_3 - \omega_m^2 \times \vec{R}_3;$$

$$\vec{A}_0 = (0, 0, 0)$$

Donde α_m es la aceleración angular de la mesa y el paciente al girar.

Y las ecuaciones de lazo:

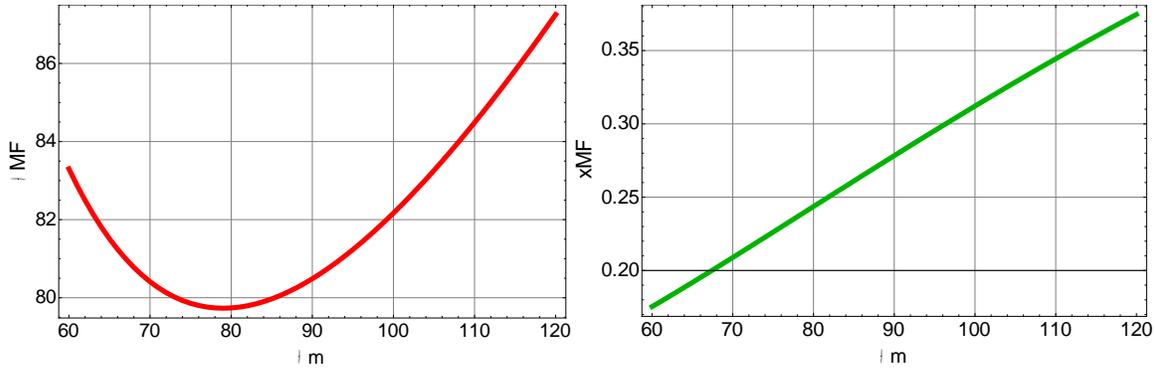
$$\vec{R}_{0x} + \vec{R}_{MF} + \vec{R}_3 - \vec{R}_1 - \vec{R}_{0y} = 0,$$

$$\vec{V}_{0x} + \vec{V}_{MF} + \vec{V}_3 - \vec{V}_1 - \vec{V}_{0y} = 0,$$

$$\vec{A}_{0x} + \vec{A}_{MF} + \vec{A}_3 - \vec{A}_1 - \vec{A}_{0y} = 0.$$

Se obtuvieron los valores de operación del motor en el mecanismo (θ_{MF}, x_{MF}) . Éstos fueron calculados para valores fijos de $60^\circ \leq \theta_m \leq 120^\circ$ los cuales son los valores de inclinación que se pueden lograr en la mesa ($\pm 30^\circ$ de la mesa con respecto al piso).

Las gráficas de dichos resultados son:



(Gráfica 1 y 2: ángulo y distancia total del Actuador lineal contra inclinación de la mesa, dentro del rango de operación del mecanismo de inclinación frontal).

Al mismo tiempo, se resolvió la velocidad y aceleración del mismo lazo con valores de operación del actuador ($v_{x_{MF}} = 2.5 \left[\frac{mm}{s} \right], a_{x_{MF}} = 0 \left[\frac{m}{s^2} \right]$).

Después se analizó la dinámica del mecanismo con las fuerzas mostradas en el diagrama de cuerpo libre dinámico de la figura 56, las cuales se muestran a continuación:

$\vec{F}_{01} = (F_{01x}, F_{01y}, 0)$, donde F_{01} es la fuerza de reacción de la tierra desde la oreja de inclinación de la mesa.

$\vec{F}_{0M} = (F_{0Mx}, F_{0My}, 0)$, donde F_{0M} es la fuerza de reacción de la tierra desde la oreja de inclinación del actuador lineal.

$\vec{F}_{M3} = (F_{M3x}, F_{M3y}, 0)$, donde F_{M3} es la fuerza de reacción de la mesa de la oreja de la mesa de inclinación y el actuador lineal.

$\vec{W}_m = (0, -m_m g, 0)$, donde W_m es el peso total de la mesa, $m_m = 87[kg]$ es la masa de la mesa, $g = 9.81[m/s^2]$ es la aceleración de la gravedad.

$\vec{W}_p = (0, -m_p g, 0)$, donde W_p es el peso total de la mesa, $m_p = 113[kg]$ es la masa considerada límite del paciente, $g = 9.81[m/s^2]$ es la aceleración de la gravedad.

$\vec{W}_{MT} = (0, -m_{MT} g, 0)$, donde W_{MT} es el peso total del motor, $m_{MT} = 6[kg]$ es la masa total del motor, $g = 9.81[m/s^2]$ es la aceleración de la gravedad.

Y las ecuaciones dinámicas por cada cuerpo son:

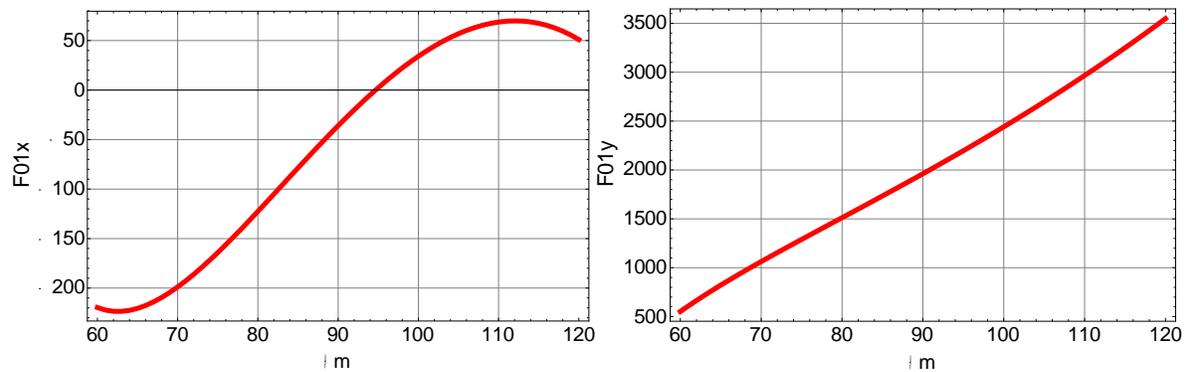
$\Sigma_{F_{MF}} = 0: \vec{F}_{0M} - \vec{F}_{M3} + \vec{W}_{MT} - m_{MF} * \vec{A}_{GMF} = 0$, donde \vec{A}_{GMF} es la aceleración del centro de gravedad del motor.

$\Sigma_{T_{MF}} = 0: \vec{R}_{0M} \times \vec{F}_{0M} + \vec{R}_{3M} \times (-\vec{F}_{M3}) + \vec{W}_{MT} - IG_{MF} * \vec{\alpha}_{MF} = 0$, donde R_{0M} es el vector que va desde el centro de gravedad del motor hacia la tierra, R_{3M} es el vector que va desde el centro de gravedad del motor hacia la mesa, e $IG_{MF} = 15 \times 10^{-3} [Kg m^2]$ es la inercia rotacional del motor desde el plano frontal.

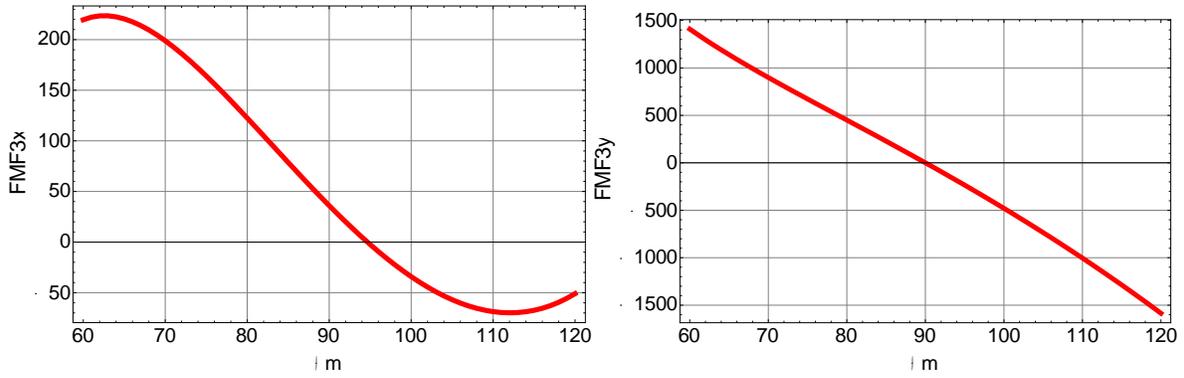
$\Sigma_{F_m} = 0: \vec{F}_{01} + \vec{F}_{M3} + \vec{W}_m + \vec{W}_p - (m_m + m_p) * \vec{A}_{Gm} = 0$, donde A_{Gm} es la aceleración del centro de gravedad de la mesa y el paciente.

$\Sigma_{T_m} = 0: \vec{R}_{0m} \times \vec{F}_{01} + \vec{R}_{Mm} \times F_{M3} + \vec{R}_{pm} \times \vec{W}_p - (IG_m + IG_p) * \vec{\alpha}_m = 0$, donde R_{0m} es el vector que va desde el centro de gravedad de la mesa hacia la tierra, R_{Mm} es el vector que va desde el centro de gravedad de la mesa hacia el motor, R_{pm} es el vector que va desde el centro de gravedad de la mesa hacia el centro de gravedad del paciente, e $IG_m + IG_p = (5.5 + 5.5) \times 10^{-3} [Kg m^2]$ es la inercia rotacional de la mesa y el paciente en el plano frontal.

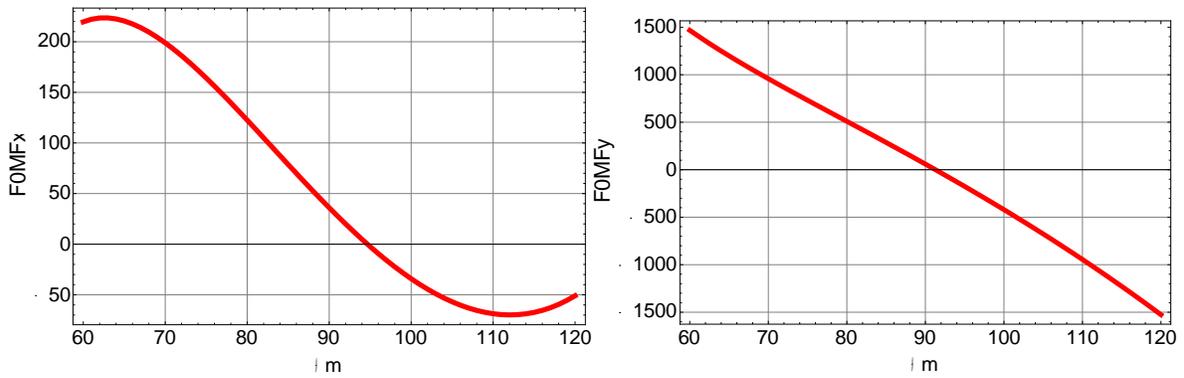
Con esto, para el cálculo de fuerzas, se tuvo un sistema de seis ecuaciones con seis incógnitas, para el cual, con ayuda de los valores de velocidades y aceleraciones en cada grado de inclinación de la mesa se llegó a las siguientes tablas de resultados para cada ángulo de operación del mecanismo:



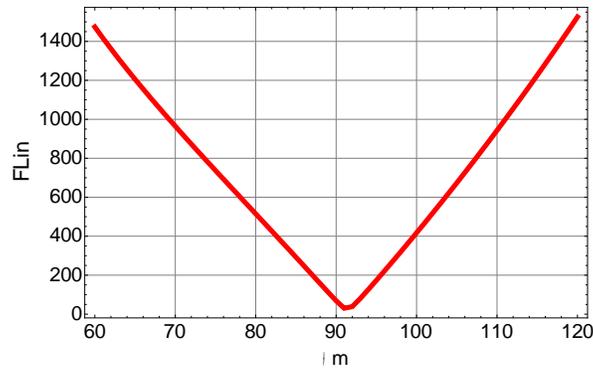
(Gráficas 3 y 4: Resultados de las componentes de las fuerzas en X y en Y sobre la unión de la mesa y la tierra del mecanismo de inclinación frontal).



(Gráficas 5 y 6: Resultados de las componentes de las fuerzas en X y en Y sobre la unión de la mesa y el actuador LA23).



(Gráficas 7 y 8: Resultados de las componentes de las fuerzas en X y en Y sobre la unión del actuador LA23 y la tierra del mecanismo de inclinación frontal).



(Gráfica 9: Resultado de la componente de fuerza sobre el eje del actuador del motor LA23).

Como ya se mencionó, todos los cálculos cinemáticos y dinámicos se obtuvieron por medio del software de Mathematica®, el código utilizado puede verse en el anexo de este documento.

Esta última gráfica muestra la fuerza que requerirá el actuador lineal para inclinar la mesa en cada grado de operación. Como se puede observar, la fuerza máxima de éste es de cerca de 1500[N], y ya que el actuador LA23 tiene una carga máxima permitida de $F_{LinMAXLA23} = 2500[N]$, se concluyó utilizar como actuador este modelo.

Para las gráficas anteriores a ésta, se tomaron los valores máximos de F_y y F_x de cada punto del mecanismo (sin importar que estén a distintos grados), y se analizó cada oreja de unión del mecanismo para observar el factor de seguridad. Los valores de fuerzas utilizadas son:

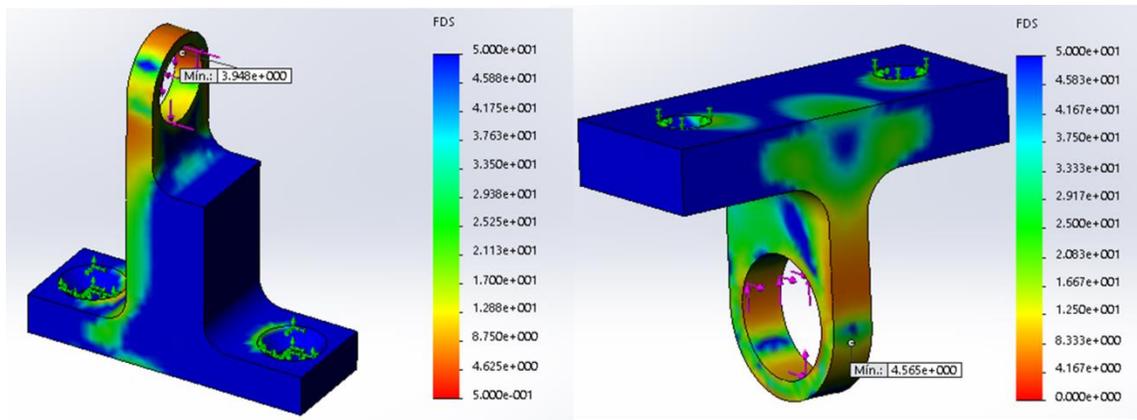
$$F_{01x} = -220[N] \quad F_{01y} = 3500[N]$$

$$F_{M3x} = 250[N] \quad F_{M3y} = 1500[N]$$

$$F_{0Mx} = 250[N] \quad F_{0My} = 1500[N]$$

Los resultados de las piezas ya optimizadas son los siguientes:

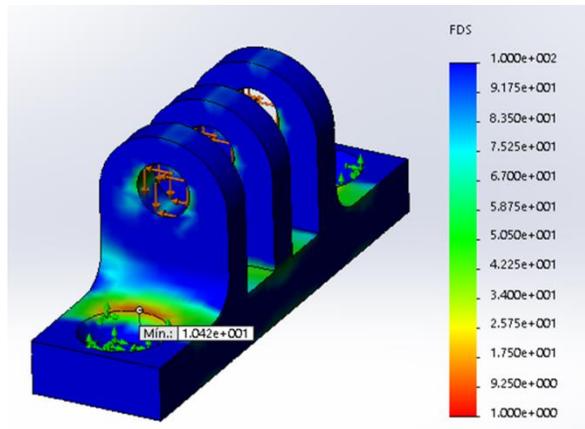
Para la unión del pedestal y la cama:



(Figura 57: Resultados de análisis de factor de seguridad de las uniones del pedestal y mesa).

Se puede observar que en cada junta hay un factor de seguridad $FS_0 = 4$ y $FS_1 = 4.56$, los cuales resultan buenos para una validación de diseño.

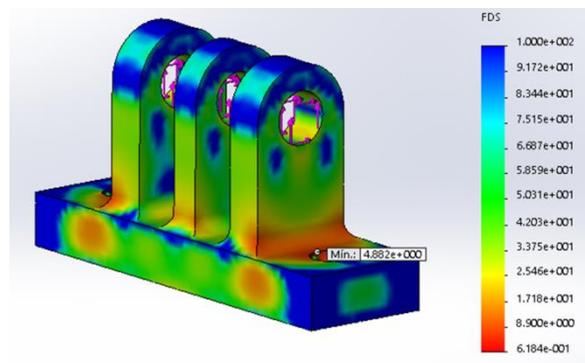
Para la unión del actuador y la cama:



(Figura 58: Resultados de análisis de factor de seguridad de las uniones del actuador y la mesa).

Se puede observar que en la junta hay un factor de seguridad $FS_3 = 10$, el cual resulta bueno para una validación de diseño.

Para la junta entre el actuador y el pedestal:

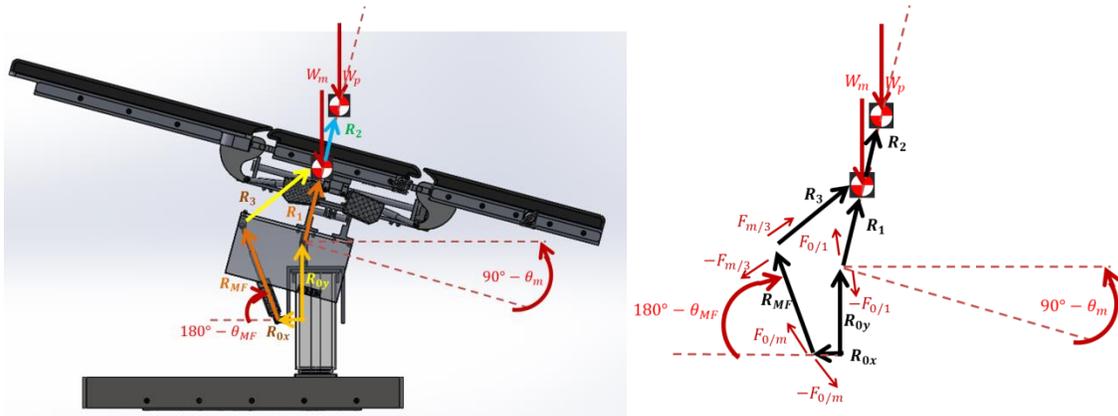


(Figura 59: Resultados de análisis de factor de seguridad de las uniones del actuador y el pedestal).

Se puede observar que en la junta hay un factor de seguridad $FS_{MF} = 4.8$, el cual resulta bueno para una validación de diseño.

Por lo anterior, queda demostrado que el mecanismo de inclinación frontal soportará las cargas con un factor de seguridad mínimo de 4.

Se continuó con el análisis del mecanismo de inclinación lateral, donde se inició con el diagrama de mecanismo y diagrama de cuerpo libre dinámico:



(Figura 60. Izquierda. Diagrama de mecanismo de inclinación lateral, donde se muestran los vectores de posición de cada unión y de los centros de gravedad de la mesa y paciente. Derecha. Diagrama de cuerpo libre sobre las reacciones en cada unión del mecanismo).

Como se puede observar, el diagrama de mecanismo y de cuerpo libre anteriores tienen una gran similitud con el mecanismo de inclinación frontal, esto es porque se modeló de la misma forma (es decir misma ecuación de lazo y fuerzas de reacción) con la diferencia de que tiene cambios en valores y parámetros de entrada. Teniendo en cuenta esto, a continuación se muestran los nuevos parámetros de entrada:

$$\vec{R}_{0x} = (-x_0, 0, 0); \text{ Donde } x_0 = 0.091[m].$$

$$\vec{R}_{0y} = (0, y_0, 0); \text{ Donde } y_0 = 0.267[m].$$

$$\vec{R}_{MF} = Rz[\theta_{MF}] \cdot r_{MF};$$

$$\vec{R}_1 = Rz[\theta_m] \cdot r_1; \text{ Donde } r_1 = (x_1, 0, 0), \text{ con } x_1 = 0.260[m].$$

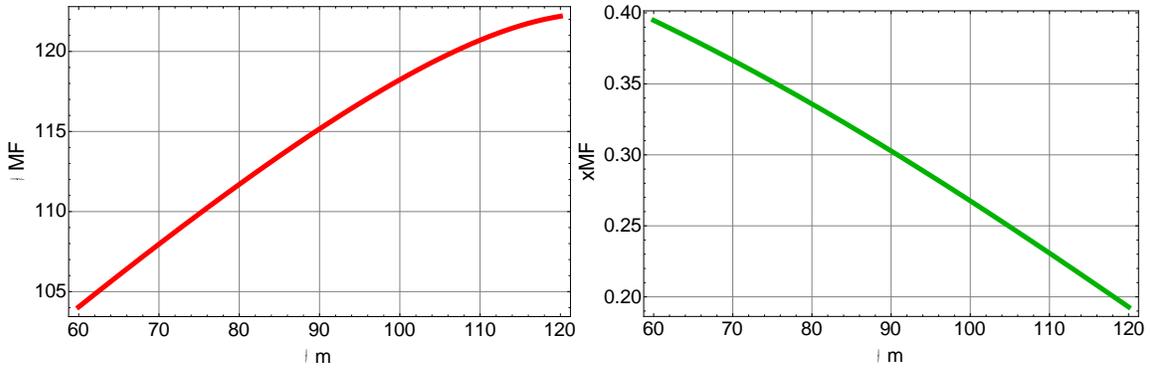
$$\vec{R}_2 = Rz[\theta_m] \cdot r_2; \text{ Donde } r_2 = (x_2, 0, 0), \text{ con } x_2 = 0.270[m].$$

$$\vec{R}_3 = Rz[\theta_m] \cdot r_3; \text{ Donde } r_3 = (y_3, -x_3, 0), \text{ con } x_3 = 0.2197[m], \text{ y } y_3 = 0.253[m].$$

$$vx_M = 2.5 \left[\frac{mm}{s} \right]; ax_M = 0 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

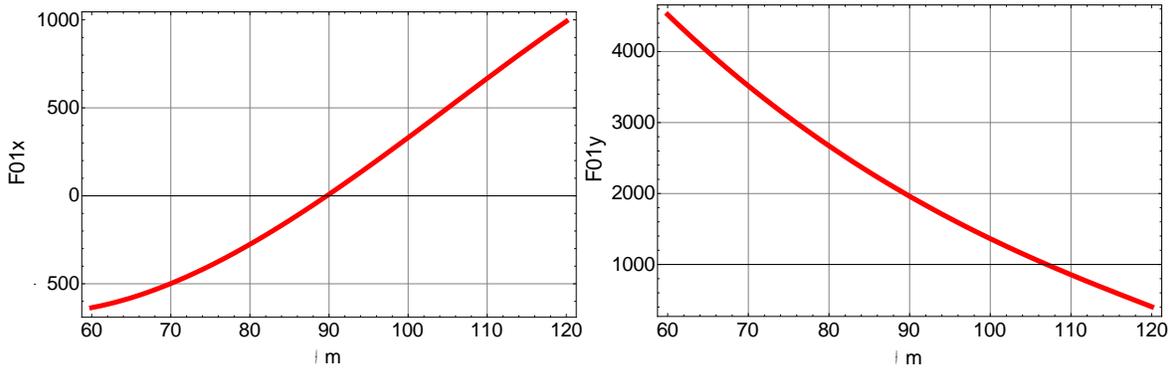
Con los mismos valores de operación $60^\circ \leq \theta_m \leq 120^\circ$.

Los resultados de la solución de la posición fueron:

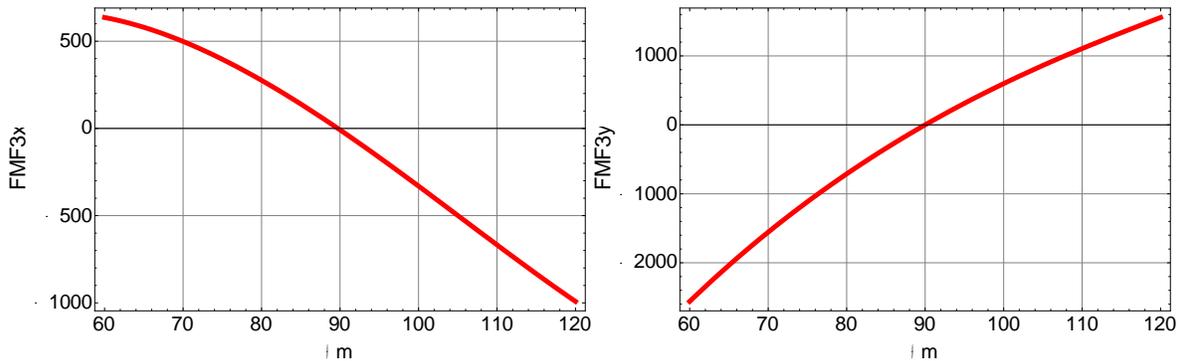


(Gráficas 10 y 11: Ángulo y distancia total del Actuator lineal contra inclinación de la mesa, dentro del rango de operación del mecanismo de inclinación lateral).

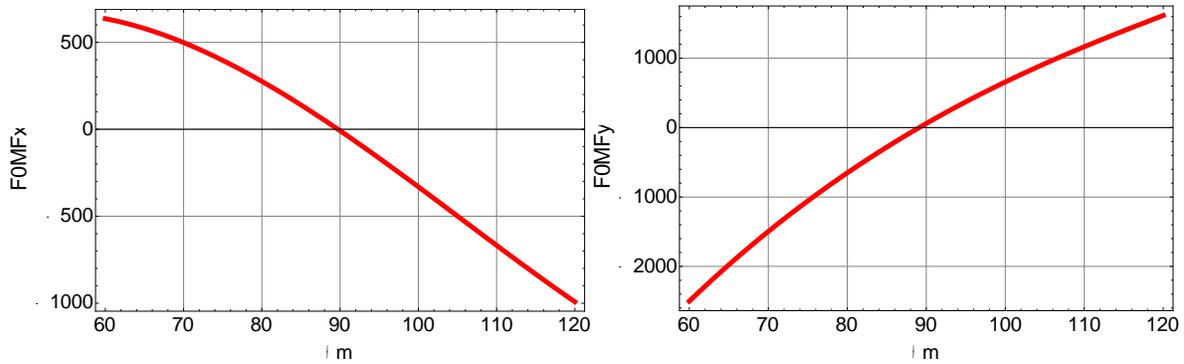
Y tomando en cuenta los resultados de la cinemática y las mismas ecuaciones de fuerzas y momentos del mecanismo anterior se llegó a las gráficas de resultados de fuerzas ante cada grado de inclinación:



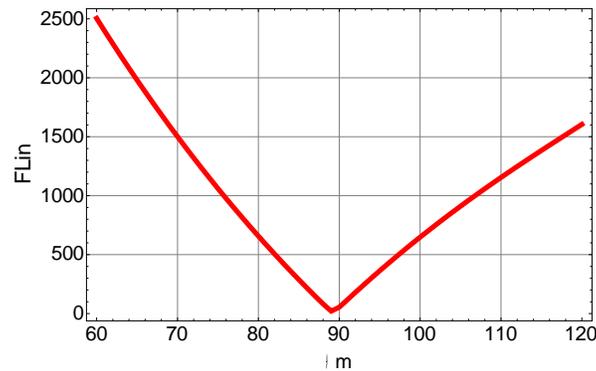
(Gráficas 12 y 13: Resultados de las componentes de las fuerzas en X y en Y sobre la unión de la mesa y la tierra del mecanismo de inclinación lateral).



(Gráficas 14 y 15: Resultados de las componentes de las fuerzas en X y en Y sobre la unión de la mesa y el actuator LA23).



(Gráficas 16 y 17: Resultados de las componentes de las fuerzas en X y en Y sobre la unión del actuador LA23 y la tierra del mecanismo de inclinación frontal).



(Gráfica 18: Resultado de la componente de fuerza sobre el eje del actuador del motor LA23).

Como se puede observar, para el mecanismo de inclinación lateral, la carga del motor se aproxima a 2500[N], lo cual sigue dentro del límite del motor LA23® con el factor de seguridad de fabricante de 2.5.

Ahora, igual que en la sección del mecanismo de inclinación frontal, se enlistan los picos de fuerza y se analizan las uniones con dichos valores:

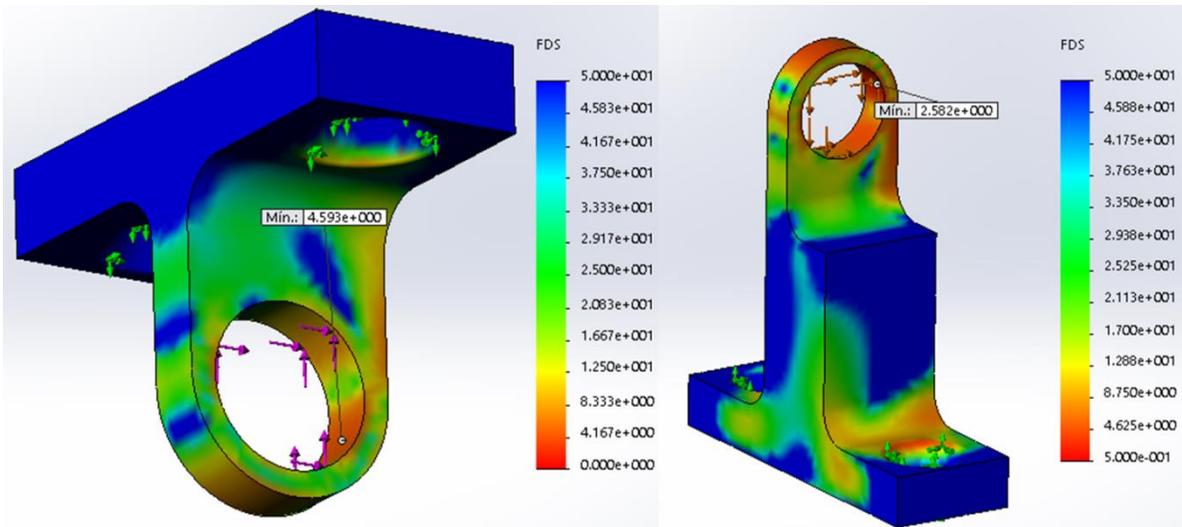
$$F_{01x} = 1000[N] \quad F_{01y} = 4500[N]$$

$$F_{M3x} = -1000[N] \quad F_{M3y} = -2500[N]$$

$$F_{0Mx} = -1000[N] \quad F_{0My} = -2500[N]$$

Y los resultados de la última iteración de optimización son los siguientes:

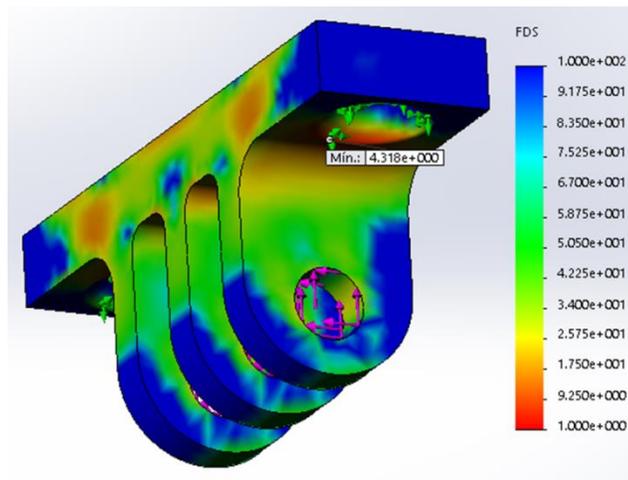
Para la unión de la base del mecanismo y la mesa:



(Figura 61: Resultados de análisis de factor de seguridad de las uniones de la mesa y la base del mecanismo).

Se puede observar que en cada junta hay un factor de seguridad $FS_0 = 4.5$ y $FS_1 = 2.58$, los cuales resultan buenos para una validación de diseño.

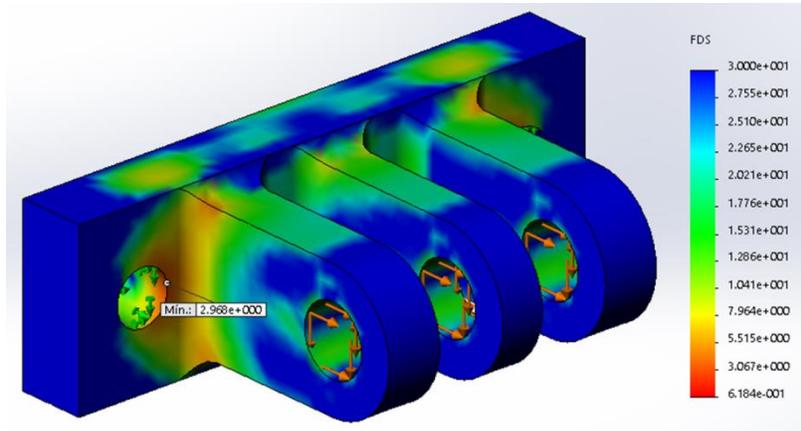
Para la unión del actuador y la cama:



(Figura 62: Resultados de análisis de factor de seguridad de las uniones de la mesa y el actuador lineal).

Se puede observar que en cada junta hay un factor de seguridad $FS_3 = 4.3$ el cual resulta bueno para una validación de diseño.

Para la junta entre el actuador y el pedestal:

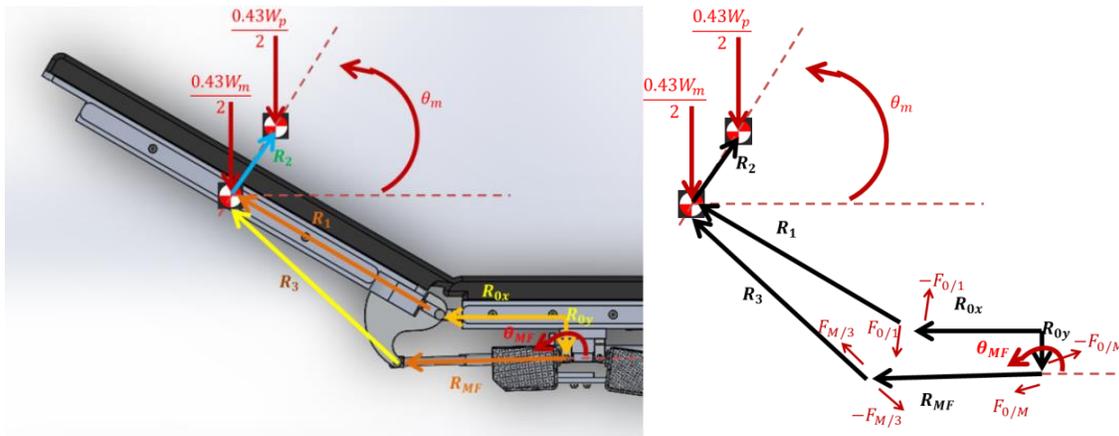


(Figura 63: Resultados de análisis de factor de seguridad de las uniones de la mesa y el actuador lineal).

Se puede observar que en la junta hay un factor de seguridad $FS_{MF} = 3$, el cual resulta bueno para una validación de diseño.

Por lo cual queda demostrado que el mecanismo de inclinación lateral soportará las cargas con un factor de seguridad mínimo de 2.8.

Se continuó con el análisis del mecanismo de inclinación de piernas, iniciando con el diagrama de mecanismo y diagrama de cuerpo libre dinámico:



(Figura 64: Izquierda. Diagrama de mecanismo de inclinación de pierna, donde se muestran los vectores de posición de cada unión y de los centros de gravedad de la mesa y paciente. Derecha. Diagrama de cuerpo libre sobre las reacciones en cada unión del mecanismo).

Al igual que el anterior, este mecanismo presenta grandes similitudes con el primer analizado, solo que esta vez la tierra está colocada en forma horizontal, y el vector R_2 ahora es perpendicular al vector R_1 (no paralelo como el anterior), además se puede notar que ahora los pesos son considerados como el 43% del peso total sobre dos, ya que es la distribución de masa considerada tanto en la mesa como el paciente para la parte inferior del cuerpo, y se divide sobre dos pues tenemos dos actuadores en el mecanismo (y dos placas).

Los valores de entrada para el mismo mecanismo ya mostrado son:

$$\vec{R}_{0x} = (-x_0, 0, 0); \text{ Donde } x_0 = 0.2465[m].$$

$$\vec{R}_{0y} = (0, -y_0, 0); \text{ Donde } y_0 = 0.0825[m].$$

$$\vec{R}_{MF} = Rz[\theta_{MF}] \cdot r_{MF};$$

$$\vec{R}_1 = Rz[\theta_m] \cdot r_1; \text{ Donde } r_1 = (0, x_1, 0), \text{ con } x_1 = 0.470[m].$$

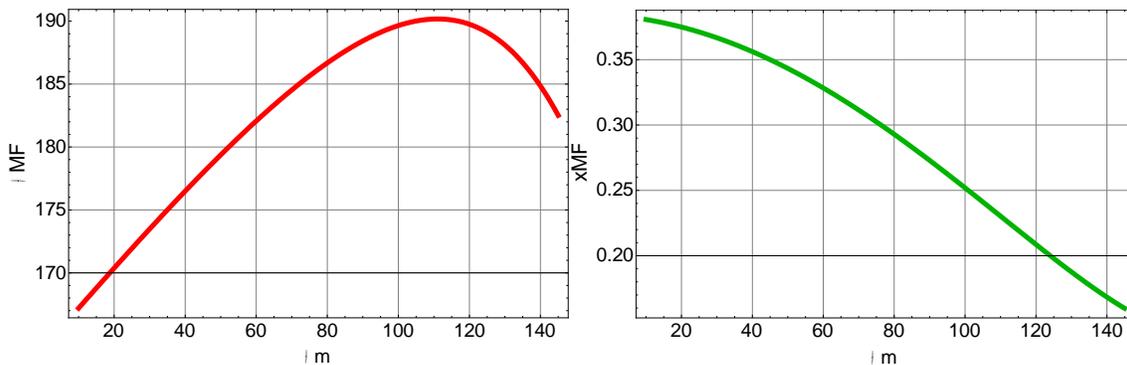
$$\vec{R}_2 = Rz[\theta_m] \cdot r_2; \text{ Donde } r_2 = (x_2, 0, 0), \text{ con } x_2 = 0.0745 + 0.1[m].$$

$$\vec{R}_3 = Rz[\theta_m] \cdot r_3; \text{ Donde } r_3 = (y_3, x_3, 0), \text{ con } x_3 = 0.4465[m], \text{ y } y_3 = 0.1225[m].$$

$$vx_M = 2.5 \left[\frac{mm}{s} \right]; ax_M = 0 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

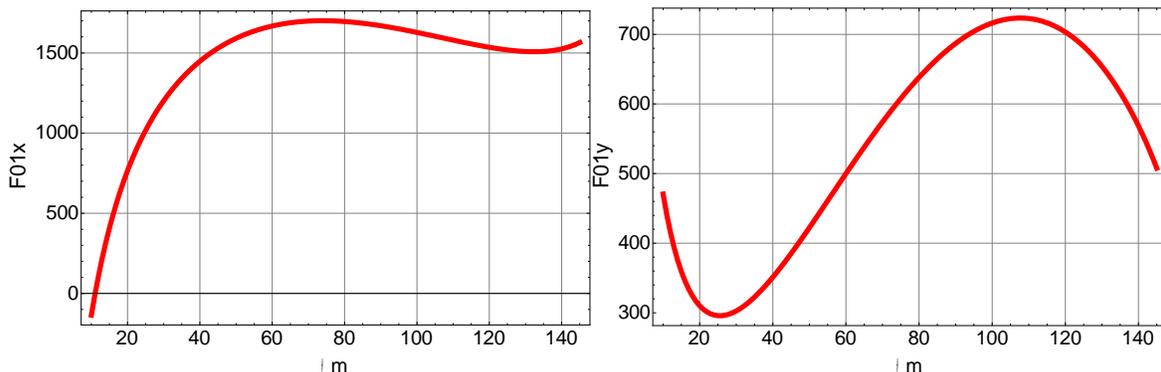
Con los valores de operación $10^\circ \leq \theta_m \leq 145^\circ$ (-55° a 80° de la placa con respecto al piso).

Los resultados de la solución de la posición fueron:

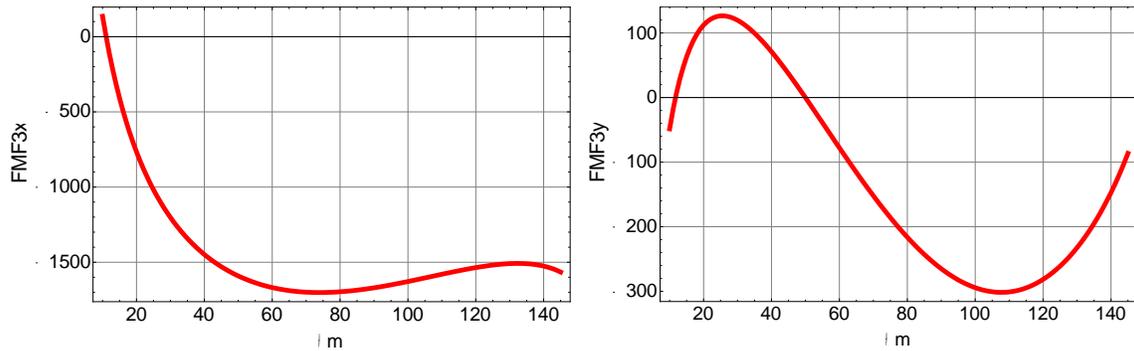


(Gráficas 19 y 20: Ángulo y distancia total del actuador lineal contra inclinación de placa, dentro del rango de operación del mecanismo de inclinación de pierna).

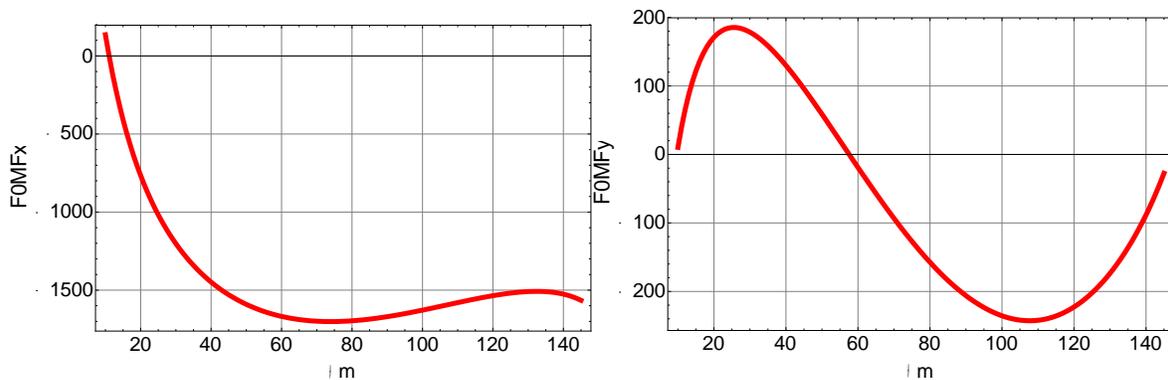
Con estos valores y las ecuaciones mencionadas en el primer mecanismo, se llegó a los siguientes resultados de fuerzas:



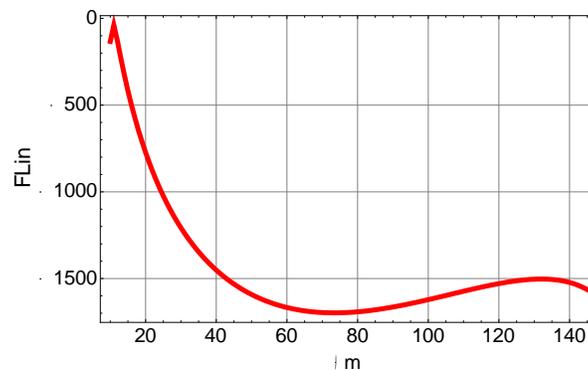
(Gráficas 21 y 22: Resultados de las componentes de las fuerzas en X y en Y sobre la unión de la placa de pierna y la placa de cadera).



(Gráficas 23 y 24: Resultados de las componentes de las fuerzas en X y en Y sobre la unión de la placa de pierna y el actuador LA23).



(Gráficas 25 y 26: Resultados de las componentes de las fuerzas en X y en Y sobre la unión del actuador LA23 y placa de cadera).



(Gráfica 27: Resultado de la componente de fuerza sobre el eje del actuador del motor LA23).

Como se puede observar, para el mecanismo de inclinación lateral, la carga del motor se aproxima a 1750[N], lo cual sigue dentro del límite del motor LA23® con el factor de seguridad por encima del de fabricante.

Ahora, al igual que en la sección del mecanismo de inclinación lateral, se enlistan los picos de fuerzas:

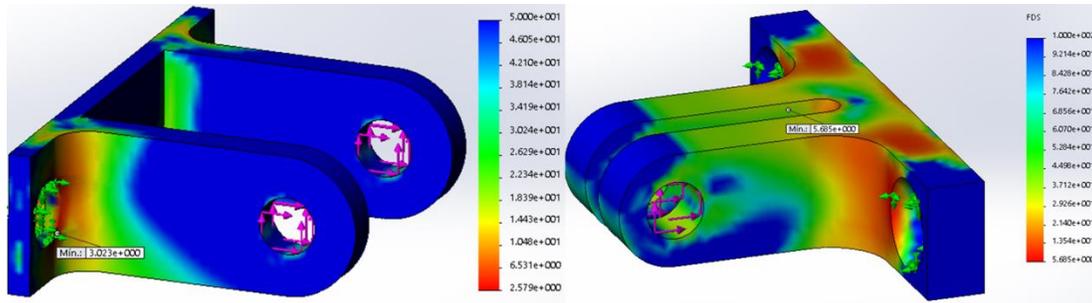
$$F_{01x} = 1750[N] \quad F_{01y} = 700[N]$$

$$F_{M3x} = -1700[N] \quad F_{M3y} = -300[N]$$

$$F_{0Mx} = -1700[N] \quad F_{0My} = -300[N]$$

Y los resultados de la última iteración de optimización son las siguientes:

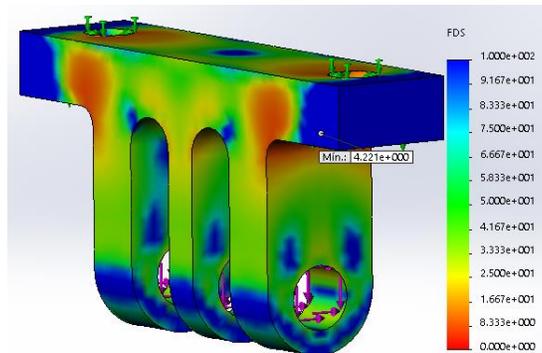
Para la unión de la base del mecanismo y la mesa:



(Figura 65: Resultados de análisis de factor de seguridad de las uniones de la placa de espalda y cadera).

Se puede observar que en cada junta hay un factor de seguridad $FS_1 = 3$ y $FS_0 = 5$, los cuales resultan buenos para una validación de diseño.

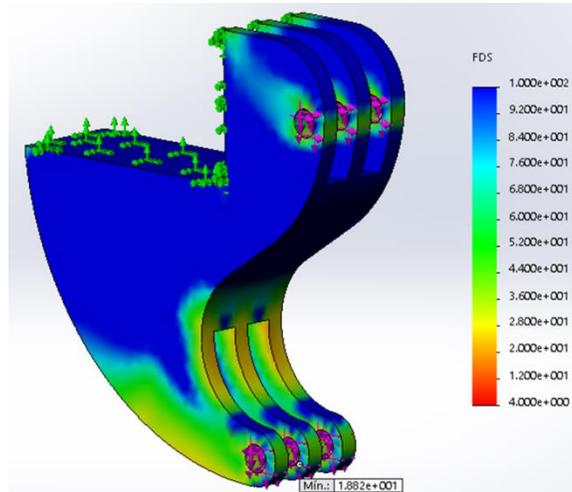
Para la unión del actuador y la placa de cadera:



(Figura 66: Resultados de análisis de factor de seguridad de las uniones de la placa de cadera y el actuador lineal).

Se puede observar que en cada junta hay un factor de seguridad $FS_3 = 4.2$ el cual resulta bueno para una validación de diseño.

Para el pivote, el cual incluye la junta con la placa de cadera y el actuador (a esta pieza también se le aplica la fuerza total entre la junta de placas entre espalda y cadera):

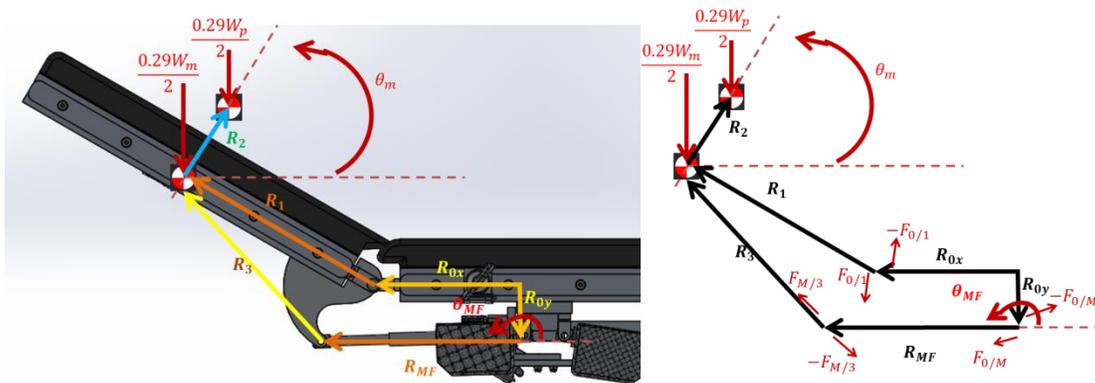


(Figura 67: Resultados de análisis de factor de seguridad de las uniones de la mesa y el actuador lineal).

Se puede observar que en el pivote hay un factor de seguridad $FS_{MF} = 18.8$, el cual resulta bueno para una validación de diseño.

Por lo cual queda demostrado que el mecanismo de inclinación de piernas soportará las cargas con un factor de seguridad mínimo de 3.

Para concluir la validación dinámica de los mecanismos analizamos el mecanismo de inclinación de espalda, el cual desde una perspectiva trasera de la mesa se puede analizar exactamente igual que el mecanismo de inclinación de pierna:



(Figura 68: Izquierda. Diagrama de mecanismo de inclinación de espalda, donde se muestran los vectores de posición de cada unión y de los centros de gravedad de la placa y paciente. Derecha. Diagrama de cuerpo libre sobre las reacciones en cada unión del mecanismo).

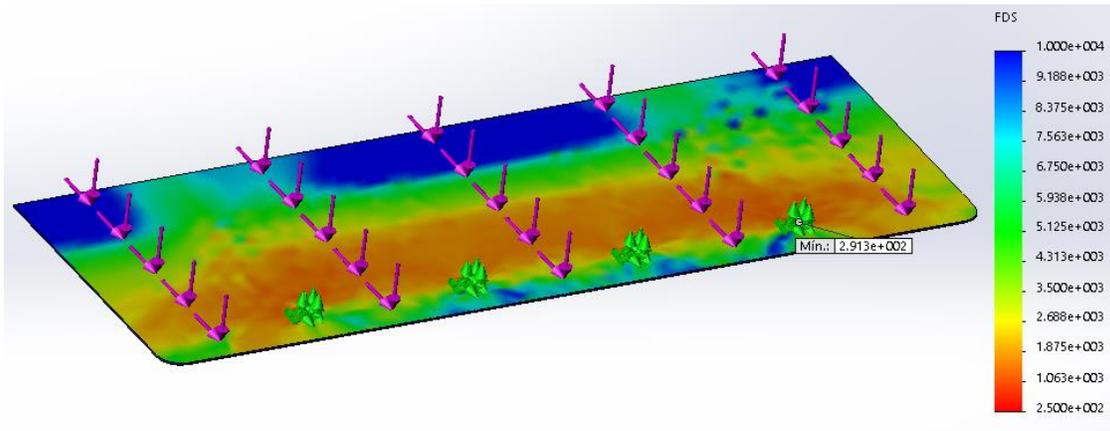
Al igual que los otros mecanismos, el modelo vectorial es similar, especialmente al de inclinación de pierna, con solo dos diferencias. Debido a las consideraciones de distribución de masa del paciente, la carga total del peso del paciente y la mesa es de 29%, no 43%, además, la distancia al centro de la placa y espalda del paciente es más corta, es decir, $x_1 = 0.350[m]$ no $x_1 = 0.470[m]$ como en el mecanismo de pierna. Con estos dos parámetros siendo menores a los analizados anteriormente, y tomando en cuenta que las ecuaciones serían las mismas, podemos deducir que las resultantes del

Y para el cálculo de las cargas:

$$F_{px} = \frac{0.43W_p}{2} \text{Sen}(30^\circ) = \frac{0.43(113g)}{2} \text{Sen}(30^\circ) = 120[N]$$

$$F_{py} = \frac{0.43W_p}{2} \text{Cos}(30^\circ) = \frac{0.43(113g)}{2} \text{Cos}(30^\circ) = 207[N]$$

Se aplicaron y el resultado fue:



(Figura 70: Resultado de análisis de cargas sobre placa de 2[mm] de fibra de carbono Twill 3k®).

Las propiedades mecánicas del Twill 3k® mencionadas son en dirección de la fibra, por lo que el método de manufactura debe de tomar en cuenta que las líneas de material vayan en dirección de la carga aplicada.

Se puede observar que el factor de seguridad corre alrededor de $FS = 29.1$.

Después se obtuvieron las cargas sobre los tornillos de la viga de piernas:

$$\Sigma_{Fx} = 0: \quad 4R_{tx} - F_{px} = 0$$

$$R_{tx} = \frac{F_{px}}{4} = 30[N]$$

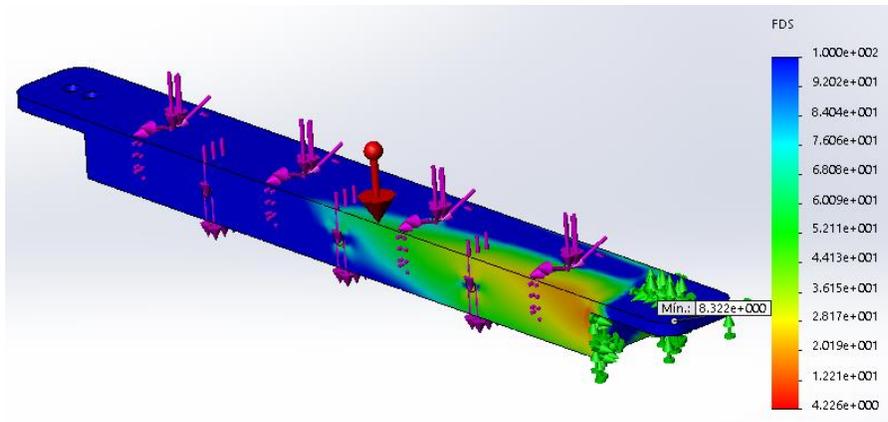
$$\Sigma_{Fy} = 0: \quad 4R_{ty} - F_{py} = 0$$

$$R_{ty} = \frac{F_{py}}{4} = 51.6[N]$$

$$\Sigma_{Mz} = 0: \quad -M_{Rty} + 0.28F_p = 0$$

$$M_{Rty} = (0.28)(0.43)(113)(9.81)[Nm] = 113.46[Nm]$$

Estas cargas se aplicaron a cada uno de los barrenos para tornillos de la viga de placa de pierna, además de tomar en cuenta el peso de la viga que es de $W_{vp} = (9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right])(9.5[kg]) = 93.2[N]$, y utilizando como base de reacciones los dos barrenos de unión con el icoságono, se obtuvieron los siguientes resultados:



(Figura 71: Resultado de análisis de cargas sobre la viga de piernas).

Se puede observar que el factor de seguridad de la viga de pierna es de $FS = 8.3$, por lo que la última optimización se considera buena para el diseño.

Ahora se obtienen las cargas de entrada del icoságono y de su soporte:

$$\Sigma_{F_x} = 0: \quad R_{tvx} - 4R_{tx} = 0$$

$$R_{tvx} = 120[N]$$

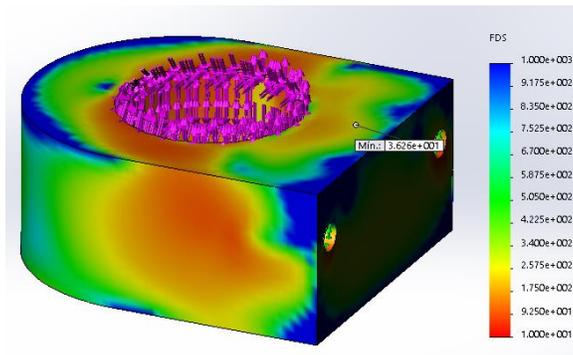
$$\Sigma_{F_y} = 0: \quad R_{tvy} - 4R_{ty} = 0$$

$$R_{tvy} = 207[N]$$

$$\Sigma_{M_x} = 0: \quad -M_{Rtx} + (0.37)(4)(R_{ty}) = 0$$

$$M_{Rtx} = (0.37)(0.43)(113)(9.81)[Nm] = 176.36[Nm]$$

Y los resultados para el soporte del icoságono son:

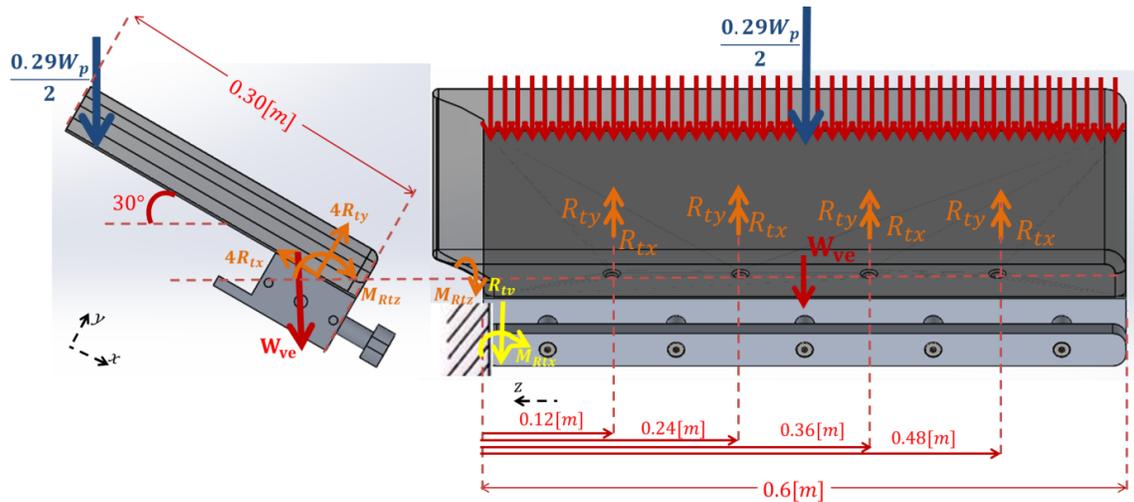


(Figura 72: Resultado de análisis de cargas sobre el soporte del icoságono).

Como se observa en la figura, el factor de seguridad del soporte es de $FS = 36$, ya que está por encima de lo esperado, se sabe que fácilmente el soporte soportaría cualquier

ángulo de pierna (superior, lateral, o frontal), por lo que no se hicieron más análisis a esta pieza.

Ya que la placa de pierna quedó demostrada con un factor de seguridad mínimo de $FS = 8.3$, se procedió a realizar el diagrama de cuerpo libre, obtener las ecuaciones y cargas, y demostrar factor de seguridad utilizando elemento finito de la placa de espalda.



(Figura 73: Diagrama de cuerpo libre de la mitad de la placa de espalda).

Como puede observarse en el diagrama, se consideró la distribución del 29% del peso total del paciente como peso aplicado en la placa.

Primero se analizó en elemento finito la placa de fibra de carbono, en ésta se aplicó el porcentaje de peso uniformemente sobre toda la superficie (esto como efecto del Memory Foam), utilizando como soportes fijos a los barrenos de la fibra de carbono.

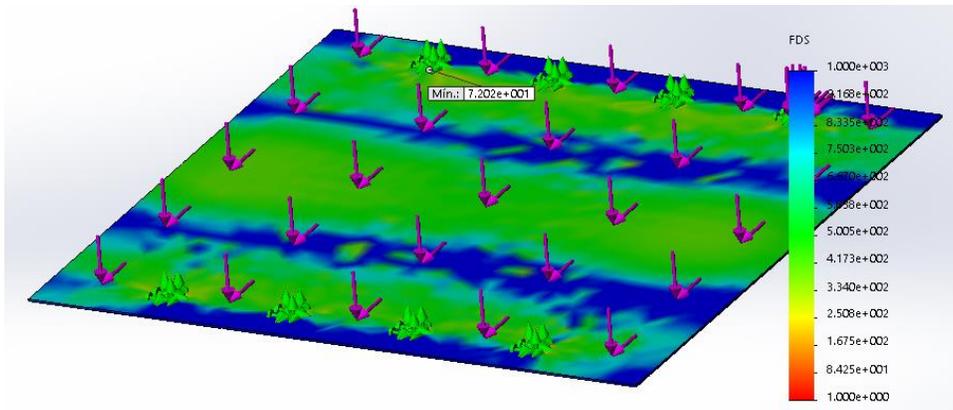
Al igual que en la placa de pierna, se utilizó como material el Twill 3k®

Y para el cálculo de las cargas:

$$F_{px} = 0.29W_p \text{Sen}(30^\circ) = 0.29(113g) \text{Sen}(30^\circ) = 162[N]$$

$$F_{py} = 0.29W_p \text{Cos}(30^\circ) = 0.29(113g) \text{Cos}(30^\circ) = 208[N]$$

Se aplicaron y el resultado fue:



(Figura 74: Resultado de análisis de cargas sobre placa de 2[mm] de fibra de carbono Twill 3k®).

Se puede observar que el factor de seguridad corre alrededor de $FS = 70$.

Después se obtuvieron las cargas sobre los tornillos de una de las dos vigas de espalda:

$$\Sigma_{F_x} = 0: \quad 4R_{tx} - F_{px} = 0$$

$$R_{tx} = \frac{F_{px}}{4} = 40.5[N]$$

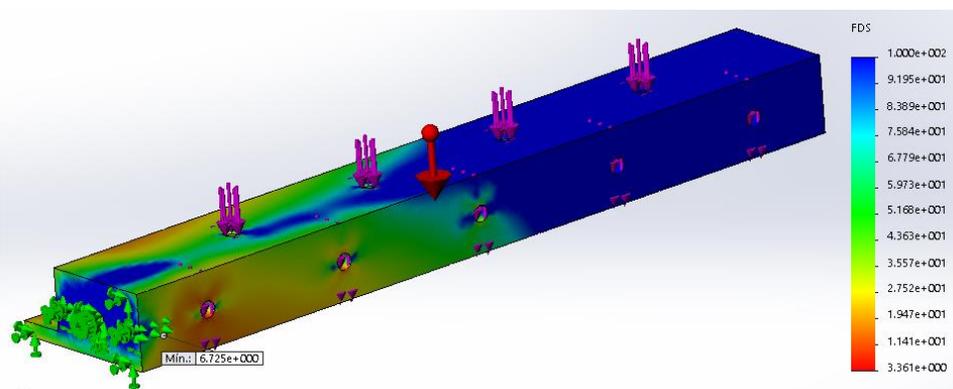
$$\Sigma_{F_y} = 0: \quad 4R_{ty} - F_{py} = 0$$

$$R_{ty} = \frac{F_{py}}{4} = 52[N]$$

$$\Sigma_{M_z} = 0: \quad -M_{Rtz} + 0.3F_p = 0$$

$$M_{Rtz} = (0.3)(0.29)(113)(9.81)[Nm] = 96.5[Nm]$$

Estas cargas se aplicaron a cada uno de los barrenos para tornillos de la viga de placa de espalda, además de tomar en cuenta el peso de la viga que es de $W_{ve} = (9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right])(8[kg]) = 93.2[N]$, y utilizando como base de reacciones los barrenos que unen la oreja de la placa de cadera y el pivote, se obtuvieron los siguientes resultados:



(Figura 75: Resultado de análisis de cargas sobre la viga de espalda).

Se puede observar que el factor de seguridad de la viga de espalda es de $FS = 6.75$, por lo que la última optimización se considera buena para el diseño. Además, se demuestra entonces que el factor de seguridad mínimo de la placa de espalda es de $FS = 6.75$

Ahora se obtienen las cargas de entrada del pivote hacia la placa de cadera:

$$\Sigma_{Fx} = 0: \quad R_{tvx} - 4R_{tx} = 0$$

$$R_{tvx} = 160.73[N]$$

$$\Sigma_{Fy} = 0: \quad R_{tvy} - 4R_{ty} = 0$$

$$R_{tvy} = 278.4[N]$$

$$\Sigma_{M_x} = 0: \quad -M_{Rtx} + (0.3)(4)(R_{ty}) = 0$$

$$M_{Rtx} = (0.29)(0.3)(113)(9.81)[Nm] = 98.31[Nm]$$

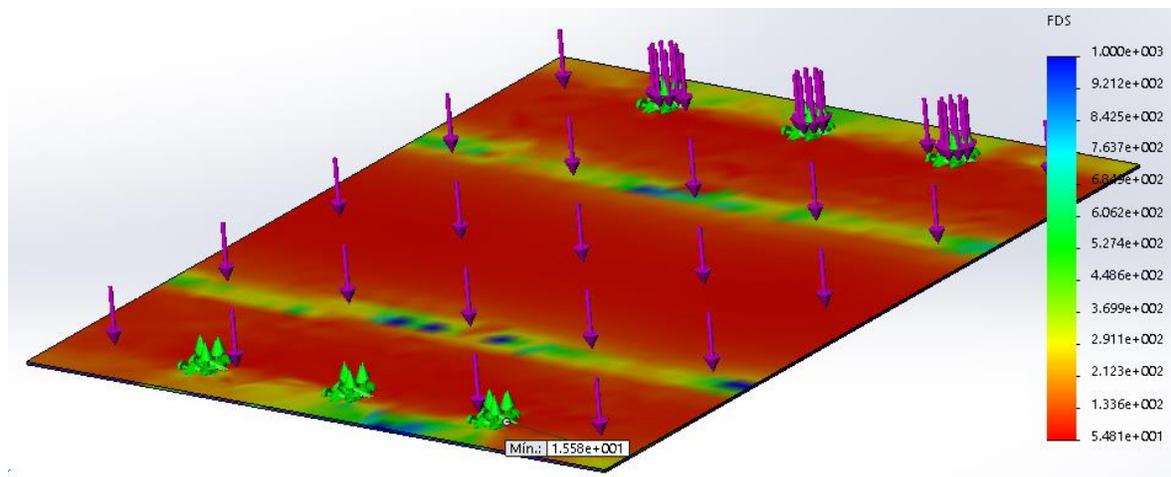
Casi para terminar se pasó al análisis de la placa de cadera.

Se analizó la placa de fibra de carbono, en la cual las cargas fueron consideradas de forma distinta, en esta ocasión la placa fue tomada en posición horizontal, con **toda** la masa del paciente reposando sobre la misma.

La carga distribuida uniformemente sobre la placa es:

$$F_p = (113[kg]) \left(9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right] \right) = 1108.5[N]$$

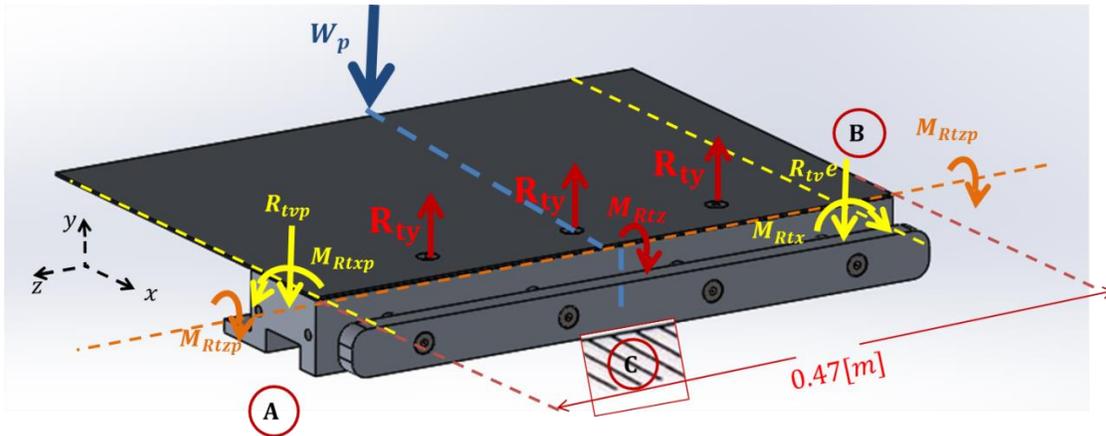
Los resultados fueron los siguientes:



(Figura 76: Resultado de análisis de toda la masa del paciente aplicada horizontalmente sobre la placa de fibra de carbono de la cadera).

Como puede observarse, en este caso el factor de seguridad fue de $FS = 15.5$, siendo relativamente más bajo que el de las placas anteriores, pero por encima de nuestro límite de 2.5.

Las reacciones calculadas de la placa de espalda hacia el pivote, las reacciones del soporte del icoságono, la carga del peso total en horizontal sobre la placa de cadera y las reacciones de las orejas en pivotes que llegan a la placa de cadera de cada mecanismo, fueron incluidas en el diagrama de cuerpo libre **simplificado** que se muestra a continuación para la viga de placa de cadera:



(Figura 77: Diagrama de cuerpo libre simplificado de la viga en la placa de cadera).

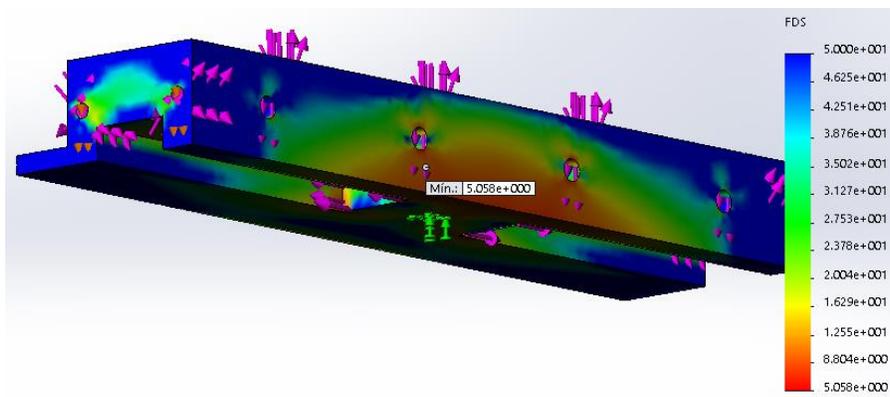
Las cargas resultantes que serán aplicadas al análisis son:

En **A**: $R_{tvp_x} = 120[N]$ $R_{tvp_y} = 207[N]$ $M_{Rt_zp} = -113[Nm]$ $M_{Rt_xp} = 176[Nm]$

En **B**: $R_{tvex} = 80[N]$ $R_{tvey} = 140[N]$ $M_{Rt_ze} = -96[Nm]$ $M_{Rt_xe} = -98[Nm]$

En **C**: $R_{tvz} = 0[N]$ $R_{tvy} = 1108[N]$ $M_{Rt_z} = -332[Nm]$ $M_{Rt_xp} = 0[Nm]$

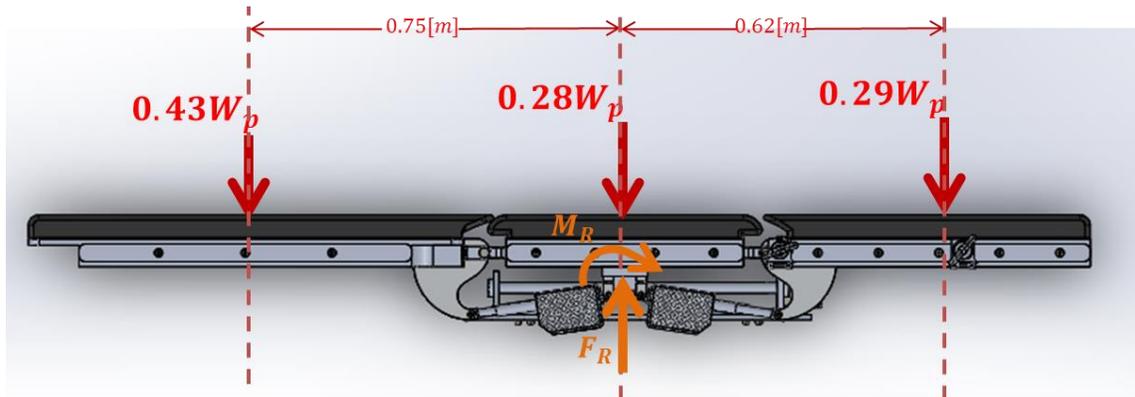
Los resultados del análisis de esta viga son:



(Figura 78: Resultados de elemento finito para la viga de cadera).

Se puede observar que el resultado es favorable, pues la viga que más esfuerzos recibe de la mesa tiene un factor de seguridad mínimo de $FS = 5.1$.

Se terminó con el análisis del carril que soporta la placa de cadera, para esto se parte del diagrama de cuerpo libre de la figura 55, que aplicado a la sección que se desea analizar se obtiene el siguiente diagrama:



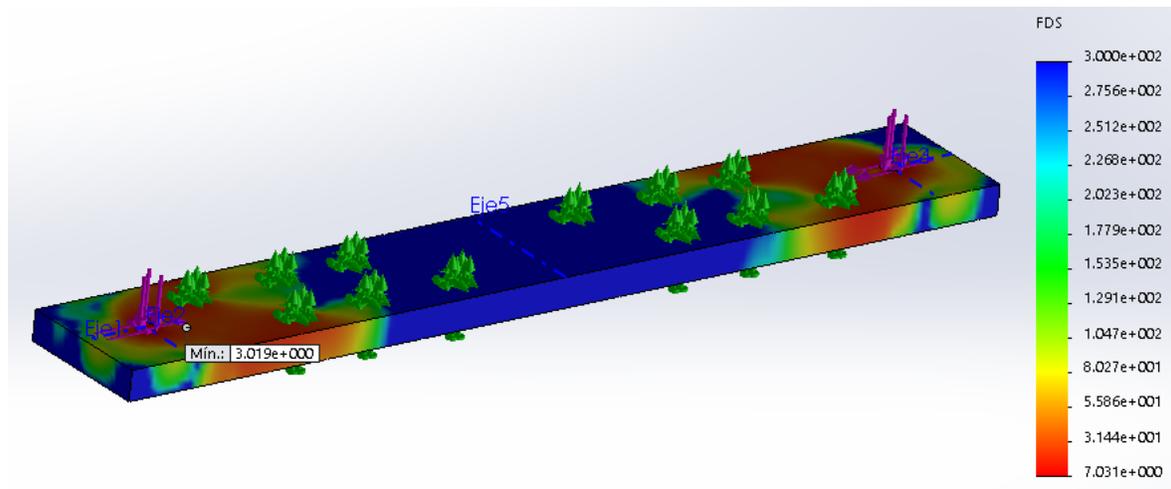
(Figura 79: Diagrama de cuerpo libre para obtener las cargas sobre el carril que carga la mesa).

Ahora obtenemos las cargas de reacción:

$$F_R = W_p = 1108[N] \quad M_R = (0.43)(0.75)W_p - (0.29)(0.62)W_p = 158[Nm]$$

Estas cargas se aplicaron en los dos barrenos laterales que se encuentran sobre esta base para la placa de cadera, y se tomaron como puntos fijos todos los barrenos de tornillos de los cojinetes lineales y carriles de tornillo.

La forma de sujeción y los resultados del análisis se pueden ver en la siguiente imagen.



(Figura 80: Resultados de análisis de carril de carga de mesa, se pueden observar las cargas colocadas como flechas moradas, y las flechas verdes como los puntos de sujeción).

Teniendo en cuenta el factor de seguridad del carril de $FS = 3$ que se muestra en la figura 80, se puede argumentar que todas las piezas principales de la mesa fueron validadas, por lo que después se procedió a diseñar los accesorios que van en los rieles de la mesa.

XII. DISEÑO MECÁNICO DE ACCESORIOS

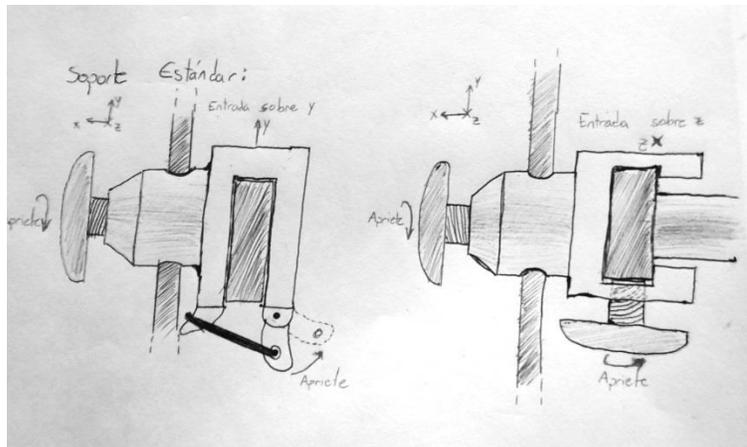
Primero se decidieron los accesorios más indispensables para la mesa, éstos dependiendo de su universalidad de uso, o que cumplan una tarea que la mesa principal no cumpla y sea común en el mercado, todo esto con asesoría de personal médico en área de ortopedia, traumatología, y ginecología.

Los accesorios seleccionados fueron:

1. Soporte estándar.
2. Soporte articulado.
3. Porta sueros.
4. Soporte para brazos.
5. Extensión de placa de espalda.
6. Soporte de extensión de placa de espalda.

La filosofía de diseño en accesorios se basó en mantener las piezas lo más simples posibles, para esto se inició con los soportes estándar y articulados.

Para el soporte estándar se debe cumplir la función únicamente de soportar extensiones tubulares que se cargan en el carril de accesorios a 90° de la superficie de la mesa, para esto se requieren dos sujeciones, una que sujete al tubo y otra que sujete al soporte al carril de accesorios. Se llegó a dos diferentes soluciones conceptuales, las cuales se muestran a continuación:



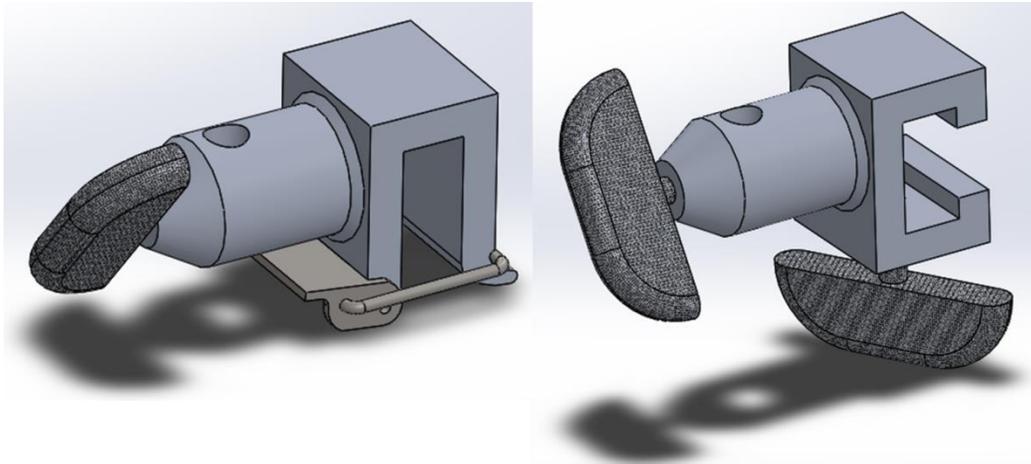
(Figura 81: Diseño conceptual de los dos soportes estándar).

Como puede observarse en la figura, el sistema de la izquierda funciona con una palanca excéntrica la cual sujeta la pieza en el carril de accesorios, obligando a que la pieza sea de un plástico deformable, el tubo se aprieta con una manivela a presión. En la segunda solución se utilizan dos manivelas, provocando que forzosamente la pieza deba ser insertada al carril desde un extremo de la mesa.

Se pretende que un cilindro, ya sea de aluminio o acero, esté soldado a la base cúbica que se muestra en la figura 81, si esto no es posible, la pieza deberá ser obtenida de un proceso de fundición.

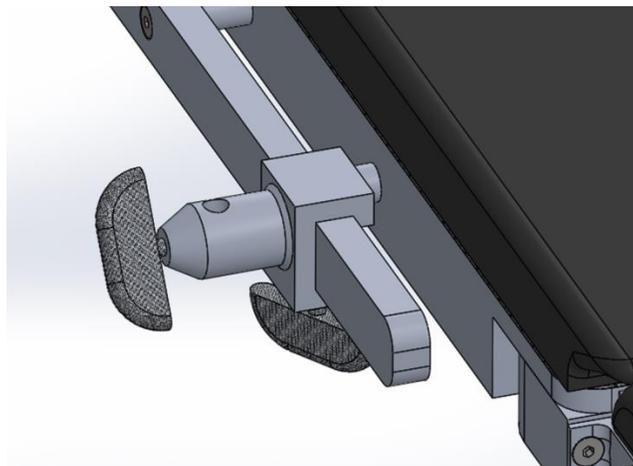
Se dibujaron ambos diseños, pero se decidió elegir al de doble manivela como el definitivo, puesto que éste es el más sencillo de manufacturar y no es necesario realizar cambio de materiales.

Ambos diseños se muestran en la siguiente figura:



(Figura 82: Diseño final de ambos ensamblajes de soportes estándar).

Y ahora se muestra el cómo es que el soporte de doble manivela está montado en el carril de accesorios:



(Figura 83: Diseño final de ambos ensamblajes de soportes estándar).

Para el soporte articulable, debe cumplir la misma función que el soporte estándar, con la diferencia de poder ser posicionado a una variedad de ángulos con respecto a la superficie de la mesa, para esto comúnmente los soportes tienen estriados angulares y un

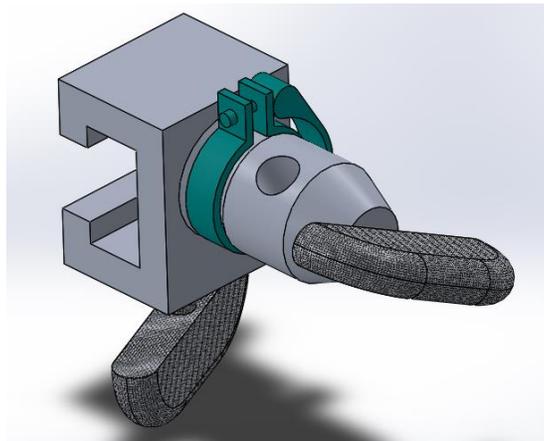
mecanismo de tornillos que permite atravesar todo el soporte y apretar la barra al cilindro. Lo anterior se muestra en la siguiente figura:



(Figura 84: Modelo común de soporte articulable).

Para evitar esta solución que forzosamente necesita ser fundida, se separó el cilindro completo del cubo para unir pedazo de tubo delgado sobre el mismo. De esta forma un cilindro más pequeño podrá entrar en el tubo a cualquier ángulo, y para apretarlo se usa una abrazadera con apriete por excentricidad (como una bicicleta).

El diseño final se muestra en la siguiente figura:



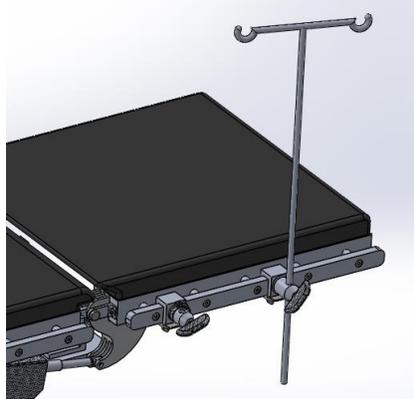
(Figura 85: Diseño final de soporte articulable en el cual se puede apreciar la abrazadera por apriete de palanca).

Se procedió con el porta sueros. La ventaja que tiene este accesorio es que consta de un simple tubo que cuenta con dos o cuatro ganchos en su parte superior, los cuales pueden soportar bolsas de suero o sangre de tamaño estándar.

Generalmente, las bolsas al ser colgadas son sujetadas al gancho por una cuerda o por un agujero que tenga en la parte superior, provocando que el diámetro del tubo no pueda

ser de gran medida. Debido a la falta de información sobre diámetros de agujeros para bolsas de suero, y a que lo que queremos es simplificar lo más posible nuestro diseño, se eligió que el diámetro del gancho y el diámetro del tubo sean iguales y del mismo diámetro que el barreno del soporte estándar o auxiliar donde éstos se sujetan (12[mm]).

El diseño final del tubo de sueros se muestra a continuación, al igual que su instalación sobre la mesa

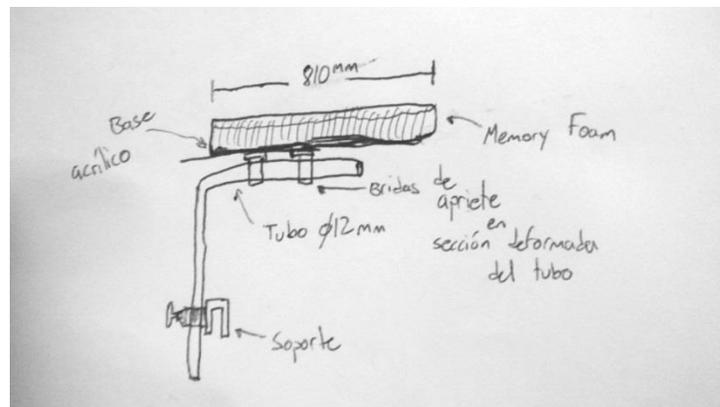


(Figura 86: Diseño final del porta sueros, el cual se observa debidamente instalado en la placa de espalda).

El soporte de brazos más básico posible es aquel en el que por medio de un tubo recto, que después se dobla 90°, permite posicionar los brazos del paciente a una altura deseada, además de permitir sujetarlos utilizando cintas de velcro. Un soporte de brazo avanzado utiliza mecanismos de cuña-resorte-trinquete para posicionar el ángulo del brazo, pero esto es innecesario pues, se puede lograr el mismo efecto si se afloja el soporte del carril de accesorios y se vuelve a posicionar al ángulo deseado.

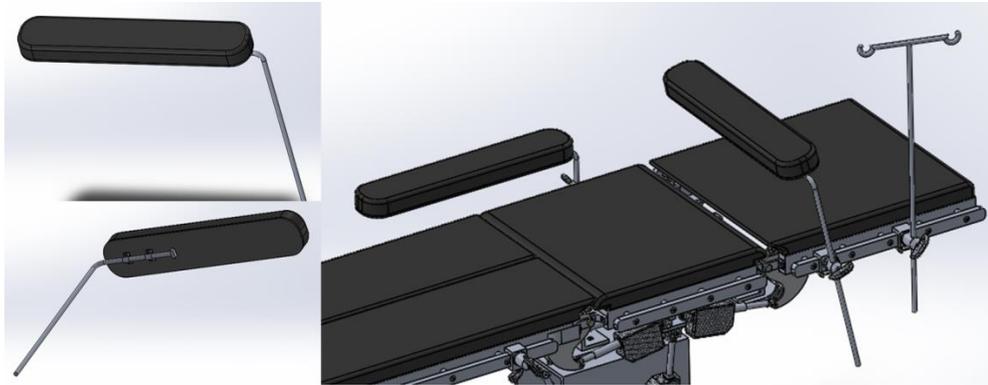
Además, se consideró la longitud de brazo como el alcance máximo de brazo frontal en medidas antropométricas mencionadas anteriormente en este documento, donde la longitud máxima en percentil 95 es de $L_{95} = 810[mm]$.

El bosquejo del soporte de brazos es el siguiente:



(Figura 87: diseño conceptual del soporte para brazos).

Se dibujó y ensambló el diseño conceptual y se llegó a un resultado favorable (y estético), el cual se muestra en la siguiente figura:

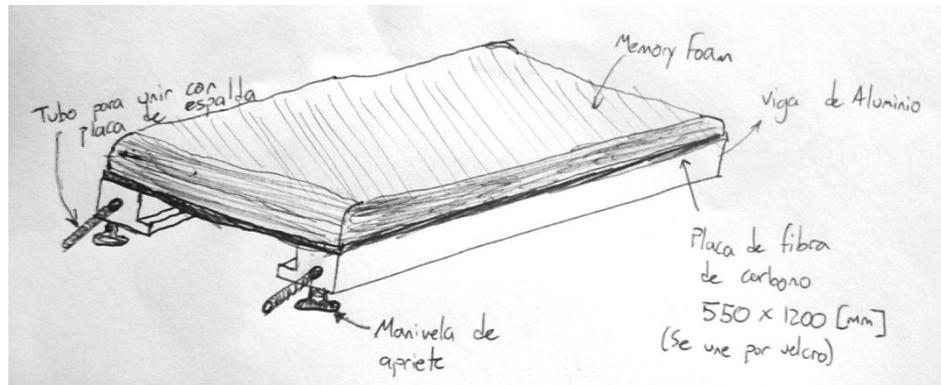


(Figura 88: Diseño final y ensamble de dos soportes de brazos, uno colocado para elevar el brazo del paciente posicionado de forma lateral, el otro colocado para sostener el brazo por afuera de la mesa mientras el paciente está recostado boca arriba).

Para la extensión de la placa de espalda se tomaron varias consideraciones:

48. Esta extensión es específicamente para un paciente que debe de ser tratado en posición horizontal (supina) y se necesita usar un arco en C a través de todo el cuerpo (por ejemplo, en una cirugía vascular u ortopédica); ya que se utilizará el arco en C mucho más que en una cirugía común (donde éste está fijo en un punto). Es necesario que la extensión tenga la menor cantidad de metal posible.
49. La suma de la longitud de la extensión de placa de espalda y la placa de espalda deben dar como resultado la longitud total del cuerpo del paciente (percentil 95 es $L_{total} = 1.8[m]$).
50. Esta posición se usa con la mesa en voladizo del lado de la espalda.
51. Las placas de piernas deben ser removidas (el diseño mostrado en este documento permite retirarlas simplemente levantando el icosaágono).
52. Dado que el colocar esta placa excede el límite de fuerza para que solo el pedestal lo aguante, se añade al final de la placa un soporte adicional que llega hasta el piso.

El diseño conceptual de la extensión de placa es el siguiente:



(Figura 89: Diseño conceptual de la placa de extensión de espalda).

Como puede observarse, se incluyeron dos barras de 20 [cm] de largo al final de cada uno de los carriles, estos se instalan en barrenos adicionales en la placa de espalda y su extensión y son apretados por medio de manivelas, de esta forma se puede asegurar la posición de la extensión.

También se omitió el uso de carriles de accesorios, puesto que al usar el arco en C resultarían estorbosos.

Se redujo el ancho total de la placa 5[cm], esto con el fin de que el costo del material y su manufactura pueda disminuir (puesto que es demasiado aluminio). Además, si sumamos el total de 1.2 [m] y los 0.6 [m] de la extensión de espalda obtenemos los 1.8[m] necesarios para este diseño.

Se realizó el diseño y ensamblaje previo, los resultados fueron los siguientes:

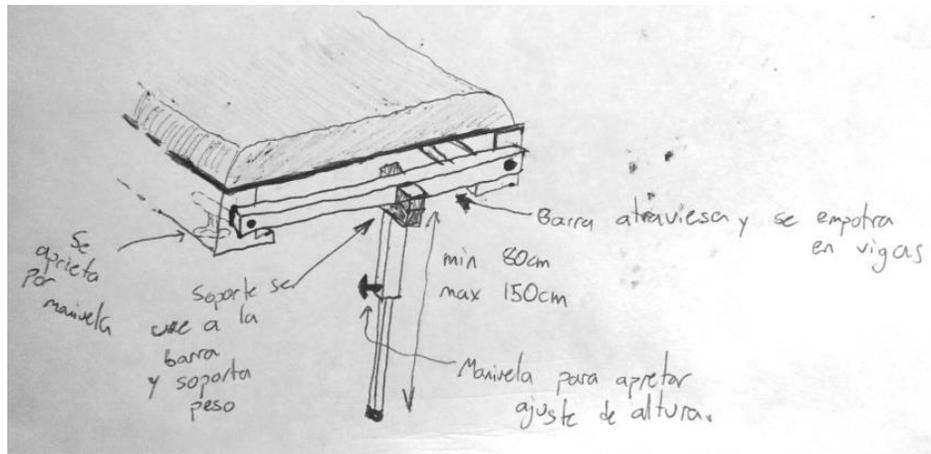


(Figura 90: Diseño final de la extensión de placa de espalda).

Como puede observarse, esta extensión se aprieta por medio de dos manivelas, y mantiene su posición dependiendo de la presión que el usuario aplique.

Cabe recordar que para que esta placa funcione se necesita de un soporte adicional. Este soporte y su diseño se muestran a continuación.

Para el soporte de extensión de espalda se dibujaron dos conceptos, a partir de los cuales se seleccionó el que se muestra en la siguiente figura como definitivo:



(Figura 91: Diseño conceptual del segundo sistema de soporte para la extensión de placa de espalda).

Y el sistema final ensamblado queda de la siguiente manera:



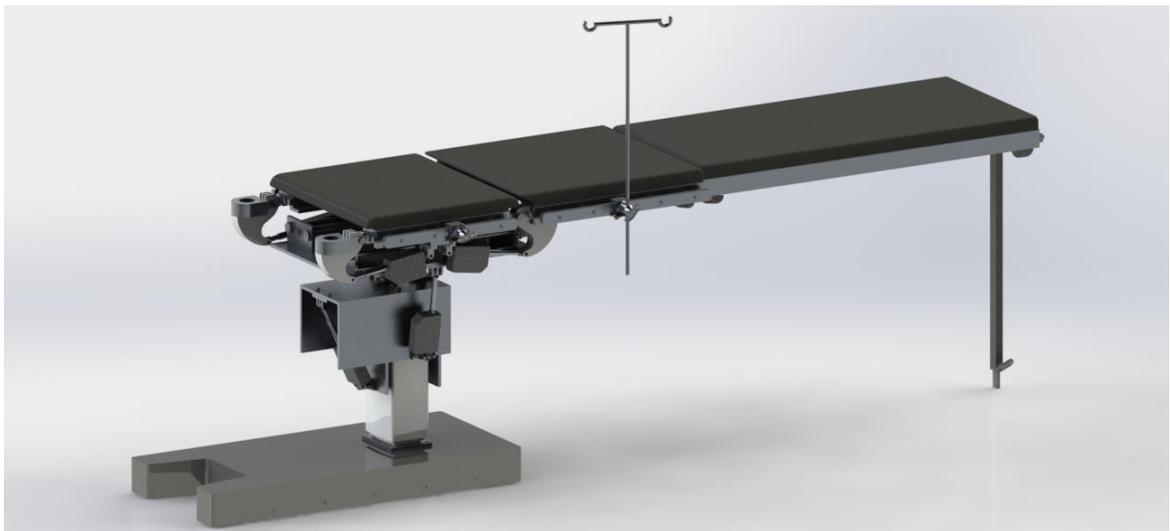
(Figura 92: Diseño final del sistema de extensión de espalda).

Como se observa, con la manivela inferior se puede modificar su altura, además de que puede ser retirado en cualquier momento sin utilizar herramienta adicional.

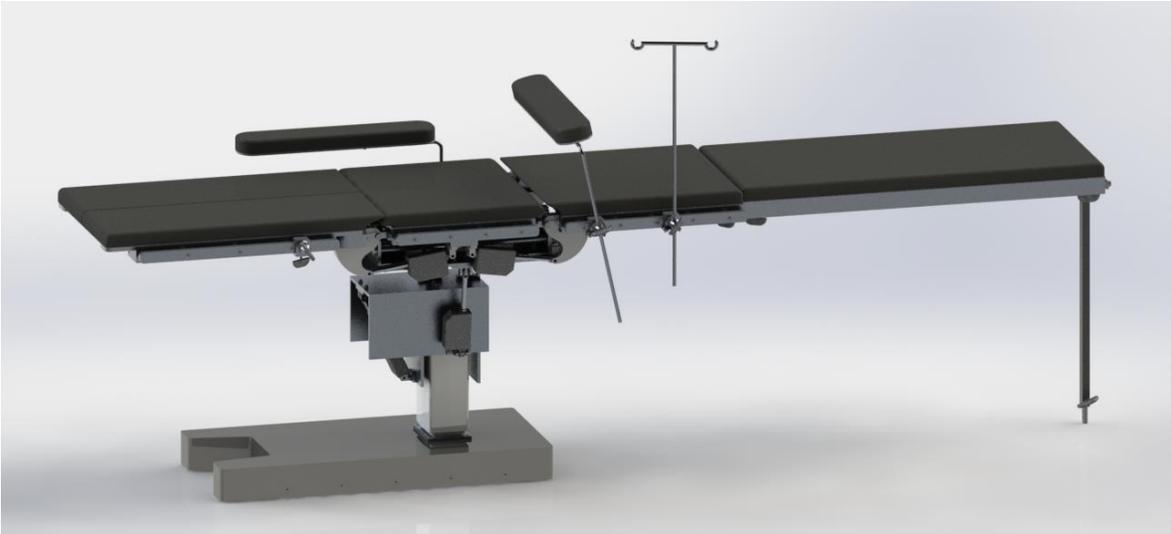
Para finalizar esta sección, se añaden un par de “renders” con el uso de los accesorios que fueron añadidos a la mesa:



(Figura 93: "Render" de la mesa en posición sentado o Fowler con dos soportes de brazo a los lados y con el soporte de suero).



(Figura 94: "Render" de la mesa utilizando extensión de espalda para cirugía con rayos X, en la cual las placas de pierna han sido retiradas).



(Figura 95: "Render" de la mesa en posición horizontal con todos los accesorios diseñados, no necesariamente las posiciones de éstos son correctas).

Con esto se dio por terminado el diseño de la mesa reportado para esta tesis, el resto de los sistemas, entre ellos el eléctrico, el de control, el carro transportador, la placa de cabeza y las sujeciones entre fibra de carbono y colchones no fueron mostrados pues éstos requerirían prácticamente el mismo tiempo y documentación que lo presentado en este documento y por lo tanto lo extendería demasiado.

XIII. TRABAJO A FUTURO Y CONCLUSIONES.

Una vez completado el diseño de las piezas principales de la mesa, además de tener el diseño finalizado de las partes secundarias y todo el sistema eléctrico (el cuál debe asegurar cumplir normas oficiales mexicanas), se deberá buscar un financiamiento para construir un modelo funcional, al cual se deben realizar pruebas de funcionamiento para validar tanto la parte mecánica como eléctrica de la mesa.

Pensando que no se requerirán cambios en el diseño (pues la mesa cumple con los requerimientos mínimos de catálogos oficiales de la secretaría de salud y la secretaría de gobernación¹⁸), se deberá proceder al IMPI (Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual) para registrar el desarrollo completo de la mesa, y al mismo tiempo, a obtener validación de registro completo por parte de la CENETEC, la cual aprobará que la mesa pueda ser comercializada y utilizada dentro del país.

Teniendo lo anterior, se planea tener ya institutos o laboratorios que estén interesados en adquirir el producto, para lo cual dependiendo del número de órdenes de mesas se decidirá el método final de manufactura, cuántos actuadores serán pedidos, y cuantas mesas podrán ser construidas en un primer pedido de ensambles generales.

Si todo lo anterior llegara a tener éxito, se planea iniciar diseño de otros tipos de dispositivos médicos generales, como máquinas de ultrasonido, camas de exploración, utensilios básicos, etc.

El proceso de diseño de la mesa de quirófano resultó ser largo, debido a la gran cantidad de condiciones y detalles mecánicos, eléctricos, de manufactura, de materiales, higiénicos y ergonómicos que tienen que ser tomados en cuenta para llegar a un producto que en algún futuro podría ser vendido a una clínica u hospital.

Cabe mencionar que la atención requerida para este proyecto puede dispersarse. Puesto que una sola persona se dio a la tarea de diseñar todos estos sistemas que se integran y trabajan en conjunto directo uno con otro es fácil perder de vista detalles que después pueden provocar la reiteración o repetición de uno o varios sistemas, o simplemente se pueden perder de vista por completo detalles necesarios para una buena operación, detalles que saldrían a relucir en una etapa experimental del proyecto.

Lo anterior se solucionó en gran medida mediante el uso de una bitácora, en ésta se escribió cualquier detalle o decisión que el diseñador pensó, realizó, o cambió durante el proceso de diseño. De esta forma, cada vez que se hacía una revisión no se perdían de vista puntos que fácilmente se hubieran pasado por alto. Esta bitácora terminó siendo un documento de 128 páginas, con contenido conceptual y bosquejos de sistemas, iteraciones opciones para dar solución a diferentes problemas, árboles de decisiones, etc.

También, durante el proceso de diseño tiene que observarse una y otra vez el análisis de estudio de mercado realizado casi al principio del proyecto, esto para evaluar de una forma sencilla qué tanto el diseñador está cumpliendo la misma función de la futura competencia sin copiar sus soluciones existentes. Por ejemplo, en el caso del diseño mostrado en este documento, se puede afirmar que sería la única mesa totalmente eléctrica, la única que permite sostener una placa de radiografía en cualquier momento y posición de la misma, cuya estructura sea una de las más

¹⁸ Consejo de Salubridad General, Diario Oficial de la Federación. Cuadro básico y catálogo de instrumental y equipo médico. Edición 2007. Página 9. http://dof.gob.mx/nota_to_doc.php?codnota=5033604

simples y ligeras del mercado, y que puede cumplir con una demanda de mercado grande dada la simplicidad de su diseño (pensada para fácil manufactura).

Por otro lado, consultar regularmente el estudio de mercado permite mostrar las oportunidades de crecimiento del diseño, como ejemplo, en este caso, en la optimización de materiales (como cambiar fibra de carbono por plástico o acrílico), en la búsqueda o diseño de otra columna elevadora (pues ésta fue la causa de la restricción tan fuerte del peso del paciente y la mesa), en la selección o diseño de propios actuadores lineales más pequeños, y en la adición del carro a la mesa principal (puesto que el carro no fue mostrado en este documento).

Como se mencionó anteriormente, no se reportaron todos los sistemas en esta tesis, esto para no incrementar demasiado la longitud del documento, además de que los tipos de problemas de los sistemas restantes son diferentes a los presentados. Por ejemplo: en el sistema de control se deben hacer análisis de colisiones para cada posición posible (un choque entre placa de piernas y carro de traslación), esto puede lograrse por medio de un sistema interno el cual calcule vectores que predigan si una placa está a punto de chocar o no para cada nueva posición. También, el sistema eléctrico de potencia debe de tomar en cuenta que se tendrán picos altos de corriente (los actuadores seleccionados tienen picos de 4[A]) y debería limitarse la cantidad de actuadores que puedan moverse al mismo tiempo para evitar fallos en la instalación eléctrica de la sala de quirófano.

Las características para las cuales fue diseñada esta mesa son para un mercado nacional, ya que en nuestro país no existe diseño de equipo médico básico, y, como se comentó anteriormente, solo comercializamos y reparamos equipo importado, Por lo tanto, es necesario iniciar diseño nacional pues si no lo hacemos jamás creceremos como una industria biomédica y nuestro país seguirá estando en un vórtice de entropía y mediocridad.

Prototipar, probar y distribuir este proyecto podría abrirle la puerta a nuestra nación mexicana a crear más productos médicos básicos, y en un futuro, que podamos ser considerados lugar de creación de dispositivos biomédicos de estado de arte internacional.

Cabe mencionar que ya existe diseño de productos de quirófano. Hace aproximadamente un par de años el autor de este documento asistió a un examen profesional grupal en el cual se presentó el prototipo de una mesa para neurocirugía de diseño muy especializado. El problema que se observó fue que el enfoque de dicho diseño se limitó a problemas muy específicos y representó un proyecto sin mucho alcance a todas las necesidades de la población que requiere de una cirugía de cualquier tipo o de alta frecuencia. Necesitamos partir desde lo más básico para después llegar a lo específico, un ejemplo sería diseñar el modelo T de Ford antes de un auto de carreras.

Para finalizar, el autor menciona que se encuentra muy satisfecho con el resultado obtenido, y que le encantaría añadir el resto de los sistemas a los mostrados en este documento para que esta mesa quirúrgica pueda ser modelada funcionalmente, validada, prototipada, y después fabricada y vendida a hospitales nacionales, de preferencia del sector público para beneficiar con esto a toda la población que tanto necesita este servicio.

XIV. REFERENCIAS

1. Sistema de Salud de México, (2011). "Salud Pública Méx 2011; Vol. 53(2):220-232". Recursos. (http://bvs.insp.mx/rsp/articulos/articulo_e4.php?id=002625)
2. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2011. "Perspectiva estadística México 2011". México. Páginas. 35-37.
3. Jiménez, J. (2012). Coahuila, México. "Olvida IMSS a Coahuila; infraestructura se hace 'vieja'". Periódico el Zócalo. (<http://www.zocalo.com.mx/seccion/articulo/olvida-imss-a-coahuila-infraestructura-se-hace-vieja-1399361461>)
4. Monterrosa, F. (2012). Ciudad de México, México. "Crisis hospitalaria en México". Noticieros Televisa. (<http://noticierostelevisa.esmas.com/especiales/586015/crisis-hospitalaria/>)
5. Artículos 106 y 179. Reglamento General de Insumos para la Salud. Secretaría de Salud. (<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/compi/ris.html>)
6. Registros Sanitarios de Dispositivos Médicos. COFEPRIS. Secretaría de Salud. (<http://www.cofepris.gob.mx/AS/Paginas/Registros%20Sanitarios/RegistroSanitarioDispositivosMedicos.aspx>)
7. Dispositivos médicos de clase I que no registran. COFEPRIS. Secretaría de Salud. Págs. 9, 14 y 31 (http://www.cofepris.gob.mx/AS/Documents/RegistroSanitarioMedicamentos/no_registran.pdf)
8. Art. 6.2 y 3.1. Norma oficial Mexicana NOM-016-SSA3-2009. DOF. Secretaría de Gobernación. (http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5284306&fecha=08/01/2013)
9. Art. 517. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005. DOF. Secretaría de Gobernación. (<http://gama.fime.uanl.mx/~omeza/pro/LEYES/NOM-001-SEDE-2005.pdf>)
10. Registros Sanitarios de dispositivos médicos. COFEPRIS. Secretaría de Salud. (www.cofepris.gob.mx/AS/paginas/Registros%20Sanitarios/RegistroSanitarioDispositivosMedicos.aspx)
11. Dr. Berry ,K. 1991. "Técnicas de quirófano". ATKINSON. 7° Edición. México D.F.
12. Joanna R. 1986. "Instrumentación Quirúrgica", ATKINSON. 6° Edición. México D.F.
13. LINAK. "Ficha técnica actuador lineal LA44IC". (<http://www.linak-latinamerica.com/productos/linear-actuators.aspx?product=LA44+IC>)
14. LINAK. "Ficha técnica columna elevadora BL1". (<http://www.linak-latinamerica.com/productos/lifting-columns.aspx?product=BL1>)
15. LINAK. "Ficha técnica actuador lineal LA31 Careline". (<http://www.linak-latinamerica.com/productos/linear-actuators.aspx?product=LA31+CARELINE>)
16. LINAK. "Ficha técnica actuador lineal LA23". (<http://www.linak-latinamerica.com/productos/linear-actuators.aspx?product=LA23>)
17. Ávila CH. R, Prado L., González M. 2001. "Dimensiones antropométricas de población Latinoamericana". Universidad de Guadalajara, México. Primera Edición.
18. Consejo de Salubridad General, DOF. 2007. "Cuadro básico y catálogo de instrumental y equipo médico". Edición 2007. Página 9. (http://dof.gob.mx/nota_to_doc.php?codnota=5033604)

XV. ANEXO

Ley general de insumos de la salud, artículo 106:

“ARTÍCULO 102. Los Establecimientos, de acuerdo con lo que establezcan las Normas correspondientes, deberán reunir los siguientes requisitos:

- I. Los elementos de la construcción expuestos al exterior, serán resistentes al medio ambiente y a la fauna nociva;*
- II. Los almacenes deberán garantizar la conservación y manejo adecuado de los Insumos, a fin de evitar su contaminación, alteración o adulteración;*
- III. Los depósitos de agua potable estarán revestidos de material impermeable inocuo, con superficies interiores lisas, provistos de tapas y con sistemas de protección adecuados que impidan la contaminación o alteración del agua;*
- IV. Las áreas de oficina, laboratorios, comedor, servicios sanitarios, recepción, producción, distribución o cualquier otra área que requiera el proceso deberán estar separadas;*
- V. Estar provistos de iluminación suficiente, ya sea natural o artificial, adecuada a la naturaleza del trabajo, así como de ventilación adecuada para la renovación continua del aire y para evitar el calor excesivo, la condensación del vapor y el polvo, y*
- VI. Los acabados de paredes, pisos y techos, dentro de las áreas de fabricación, operación y almacenamiento, deberán cumplir los requisitos de textura, facilidad de limpieza e impermeabilidad.”*

Ley general de insumos de la salud, artículo 179:

“ARTÍCULO 179. Para obtener el registro sanitario de los Insumos a que se refiere el Capítulo IX, del Título Segundo de este Reglamento, se requiere presentar solicitud en el formato oficial, al cual se anexará la información documental siguiente:

- I. La información científica y técnica para demostrar que el Insumo reúne las características de seguridad y eficacia;*
- II. El proyecto de Etiqueta en idioma español, en los términos de la Norma correspondiente;*
- III. El instructivo, si procede, para su uso o manual de operación en idioma español;*
- IV. La descripción del proceso de fabricación que se lleva a cabo para obtener el producto;*
- V. La descripción de la estructura, materiales, partes y funciones, cuando se trate de equipos médicos;*
- VI. La constancia de buenas prácticas de fabricación;*
- VII. Las pruebas de laboratorio para verificar las especificaciones del Insumo;*
- VIII. Las referencias bibliográficas, y*
- IX. Las demás que establezca la Secretaría en las Normas correspondientes.*

La Secretaría resolverá las solicitudes de registro de los Insumos de la clase I en un plazo de treinta días. En caso de no hacerlo en dicho plazo se entenderá procedente la solicitud.

Para los Insumos de las clases II y III, la Secretaría tendrá como plazo treinta y cinco y sesenta días, respectivamente, para resolver la solicitud.

En caso de que el solicitante presente dictamen favorable expedido por Tercero Autorizado ante la Secretaría, en el sentido de que el Insumo cumple con las condiciones de seguridad y eficacia, la Secretaría autorizará el registro en un plazo no mayor de quince días.”

Sección 1.3 de requisitos y lineamientos de obtención de registro sanitario

“1.3 Clasificación de los dispositivos médicos de acuerdo al riesgo sanitario:

El artículo 83 del Reglamento de Insumos para la Salud señala que la Secretaría clasificará para efectos de registro a los insumos señalados en el artículo 82, de acuerdo con el riesgo sanitario que implica su uso, de la siguiente manera:

Clase I: Aquellos insumos conocidos en la práctica médica y que su seguridad y eficacia están comprobadas y, generalmente, no se introducen al organismo.

Clase II: Aquellos insumos conocidos en la práctica médica y que pueden tener variaciones en el material con el que están elaborados o en su concentración y, generalmente, se introducen al organismo permaneciendo menos de treinta días.

Clase III: Aquellos insumos recientemente aceptados en la práctica médica, o bien que se introducen al organismo y permanecen en él, por más de treinta días.”

Ficha técnica actuador lineal L44IC:

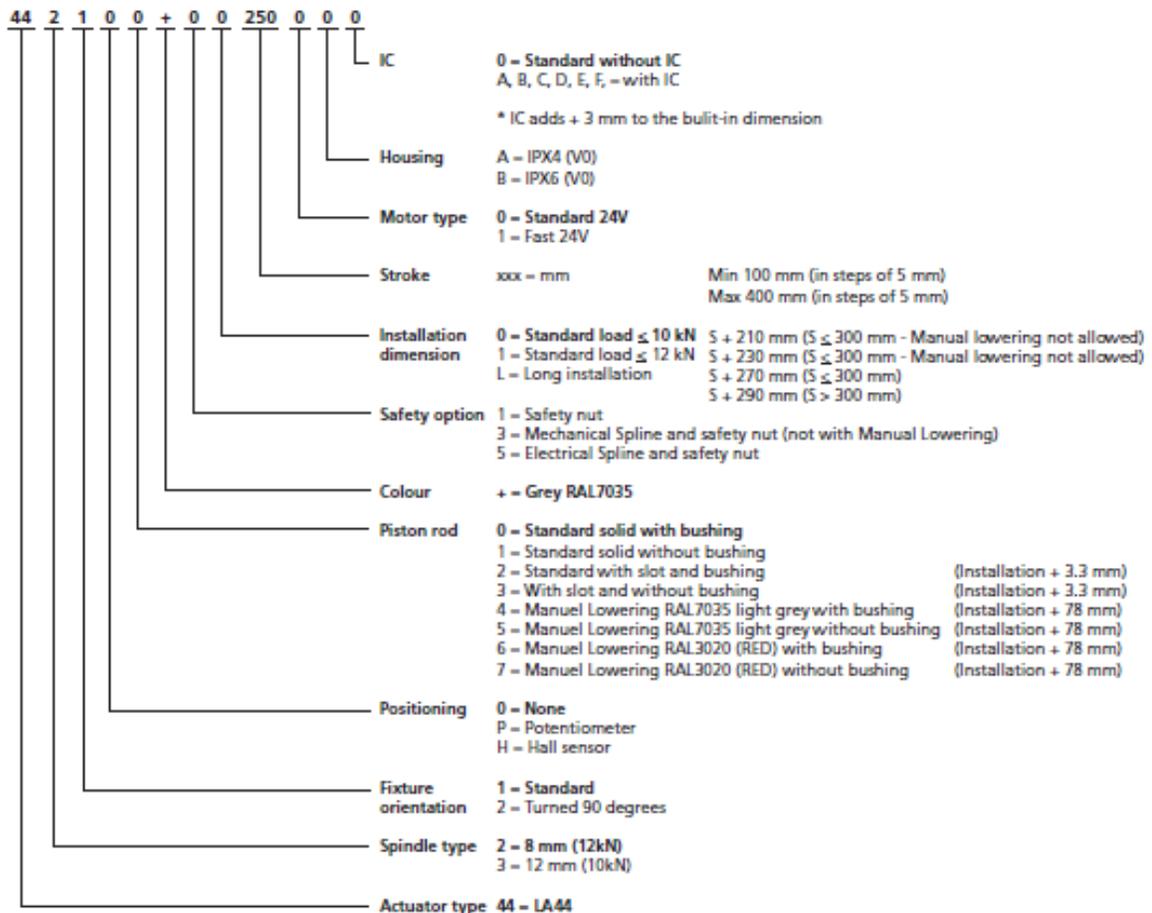
Technical specifications LA44 IC:

Power supply	Spindle pitch (mm)	Thrust max. Push (N)	Motor type	Speed at 0/full load (mm/sec.)
SMPS30	8	12000	Standard	6.2 / 4.2
SMPS30	8	12000	Fast	6.9 / 5.0
SMPS30	12	10000	Standard	11.0 / 7.6
SMPS30	12	10000	Fast	11.8 / 7.7

Please note the above measurements are typical values.

LA44 IC

Ordering example:



Installation dimension

Installation dimension option "0" in ordering example

	Installation dimensions 12 mm pitch (10.000 N)	
	Standard piston rod	Piston rod with slot (+ 3.3 mm)
Stroke length 100 - 300 mm:	S + 213 mm	S + 216.3 mm
Safety nut in push is standard: no addition to installation dimension		
Piston rod eye with slot: Installation + 3.3 mm		
Manual Lowering not allowed		

Installation dimension option "1" in ordering example

	Installation dimensions 8 mm pitch (12.000 N)	
	Standard piston rod	Piston rod with slot (+ 3.3 mm)
Stroke length 100 - 300 mm:	S + 233 mm	S + 236.3 mm
Safety nut in push is standard: no addition to installation dimension		
Piston rod eye with slot: Installation + 3.3 mm		
Manual Lowering not allowed		

Installation dimension option "L" in ordering example

	Installation dimensions 8 mm pitch (12.000 N) or 12 mm pitch (10.000 N)		
	Standard piston rod	Piston rod with slot (+ 3.3 mm)	With manual lowering
Stroke length 100 - 300 mm:	S + 273 mm	S + 276.3 mm	S + 351 mm
Stroke length 301 - 400 mm:	S + 293 mm	S + 296.3 mm	S + 371 mm
Safety nut in push is standard: no addition to installation dimension			
Piston rod eye with slot: Installation + 3.3 mm			
Manual Lowering: Installation + 78 mm (slot is not possible with manual lowering)			

The cable lock and screws must be ordered separately:

0LA44001 kit set LA44 IC (with blind plug)

0LA44002 kit set LA44 IC (without blind plug)

The blind plug is always needed if a second actuator is not connected to the LA44 IC.

Ficha técnica actuador lineal LA31:

Technical specifications:

Spindle type	Spindle pitch (mm)	Max load [N]		Typical Amp. Full load	Typical speed		Self lock Max [N]	
		Push	Pull		Unloaded	Full load	Push	Pull
Standard 24V motor								
31.1	3	6000	4000	4.0	6.2	3.2	6000	4000
31.2	5	4000	4000	3.1	11.2	5.4	2000	2000
31.2 With brake	5	4000	4000	3.3	11.2	5.6	4000	4000
31.3 With brake	9	1500	1500	2.5	19.4	10.5	1500	1500
31.4 With brake	4	6000	4000	4.1	8.2	5.4	6000	4000
31.6 With brake	12	1000	1000	2.4	26.6	14.5	1000	1000
31.7 With brake	6	2500	2500	2.5	13.2	6.8	2500	2500
Fast 24V motor								
31.1	3	6000	4000	4.2	8.2	4.9	6000	4000
31.2	5	4000	4000	3.7	14	6.9	2000	2000
31.2 With brake	5	4000	4000	4.0	14	6.4	4000	4000
31.3 With brake	9	1500	1500	2.9	26.6	13	1500	1500
31.4 With brake	4	6000	4000	5	10.7	5.3	6000	4000
31.6 With brake	12	1000	1000	2.8	32.6	17.6	1000	1000
31.7 With brake	6	2500	2500	3.1	16.7	8.3	2500	2500
Standard 24V motor and Quick release								
31.2 with Quick release, max. release force: 75 kg	5	3500	200	3.3	11.2	5.6	3500	-
31.3 with Quick release, max. release force: 75 kg	9	1500	200	2.5	19.4	10.5	1500	-
31.7 With Quick Release max release force: 50 kg	6	2500	200	2.5	13.2	6.8	2500	-
Fast 24V motor and Quick release								
31.2 with Quick release with max. release force: 75 kg	5	3500	200	4	14	6.4	3500	-
31.3 with Quick release with max. Release force: 75 kg	9	1500	200	2.9	26.6	13	1500	-
31.7 With Quick Release with double worm gear max. release force: 50 kg	6	2500	200	6	15	10	2500	-

Ficha técnica actuador lineal LA23:

Safety option	Stroke length	Spindle pitch	Min. built-in Dimensions
0 = No safety option	20 - 49	6, 9 or 12	160
0 = No safety option	20 - 49	3, 5	168
1 = Safety nut for push	20 - 49	6, 9 or 12	160
1 = Safety nut for push	20 - 49	3, 5	168
2 = safety nut for pull	20 - 49	6, 9 or 12	172
3 = Mechanical Spline for push	20 - 49	6, 9 or 12	180
3 = Mechanical Spline for push	20 - 49	3, 5	196
4 = Mechanical Spline & safety nut for push	20 - 49	6, 9 or 12	180
4 = Mechanical Spline & safety nut for push	20 - 49	3, 5	196
0 = No safety option	50 - 200	6, 9 or 12	110 + stroke
0 = No safety option	50 - 200	3, 5	118 + stroke
1 = Safety nut for push	50 - 200	6, 9 or 12	110 + stroke
1 = Safety nut for push	50 - 200	3, 5	118 + stroke
2 = Safety nut for pull	50 - 200	6, 9 or 12	122 + stroke
3 = Mechanical Spline for push	50 - 200	6, 9 or 12	130 + stroke
3 = Mechanical Spline for push	50 - 200	3, 5	146 + stroke
4 = Mechanical Spline & safety nut for push	50 - 200	6, 9 or 12	130 + stroke
4 = Mechanical Spline & safety nut for push	50 - 200	3, 5	146 + stroke
0 = No safety option	201 - 300	6, 9 or 12	130 + stroke
0 = No safety option	201 - 300	3, 5	138 + stroke
1 = Safety nut for push	201 - 300	6, 9 or 12	130 + stroke
1 = Safety nut for push	201 - 300	3, 5	138 + stroke
2 = Safety nut for pull	201 - 300	6, 9 or 12	142 + stroke
3 = Mechanical Spline for push	201 - 300	6, 9 or 12	150 + stroke
3 = Mechanical Spline for push	201 - 300	3, 5	166 + stroke
4 = Mechanical Spline & safety nut for push	201 - 300	6, 9 or 12	150 + stroke
4 = Mechanical Spline & safety nut for push	201 - 300	3, 5	166 + stroke

Technical specifications:

Power supply	Spindle pitch (mm)	Load max. Push or Pull (N)	Motor type	*Typical speed at 0/full load (mm/sec.)	*Typical current at 0/ full load (Amp.)	Inrush current (Amp)
12VDC	3	2500 / 2500	A: 12V	3.1 / 2.5	0.8 / 3.6	13.4
CBJ1/2, CBJH and CBJC	3	2500 / 2500	B: 24V	3.2 / 2.6	0.4 / 1.9	8.7
OpenBus™	3	2500 / 2500	G: 24V	3.3 / 2.7	0.3 / 1.4	6.2
12VDC	5	1800 / 1800	A: 12V	5.4 / 4.2	0.8 / 3.9	13.4
CBJ1/2, CBJH and CBJC	5	1800 / 1800	B: 24V	5.4 / 4.5	0.4 / 1.9	8.7
OpenBus™	5	1800 / 1800	G: 24V	5.6 / 4.6	0.3 / 1.4	6.2
12VDC	6	1500 / 1500	A: 12V	6.6 / 5.2	0.8 / 3.6	13.4
CBJ1/2, CBJH and CBJC	6	1500 / 1500	B: 24V	6.4 / 5.5	0.4 / 1.7	8.7
OpenBus™	6	1500 / 1500	G: 24V	6.7 / 5.5	0.3 / 1.3	6.2
12VDC	9	1200 / 1200	A: 12V	9.9 / 7.5	0.9 / 4.0	13.4
CBJ1/2, CBJH and CBJC	9	1200 / 1200	B: 24V	9.5 / 8.1	0.4 / 1.9	8.7
OpenBus™	9	1200 / 1200	G: 24V	9.9 / 8.1	0.3 / 1.3	6.2
12VDC	12	900 / 900	A: 12V	13 / 9.6	0.9 / 3.8	13.4
CBJ1/2, CBJH and CBJC	12	900 / 900	B: 24V	12.6 / 10.4	0.4 / 1.9	8.7
OpenBus™	12	900 / 900	G: 24V	13.3 / 10.7	0.3 / 1.4	6.2

Safety nut and steel back fixture overview

Pitch (mm)	Load (N)	Safety nut	Steel back fixture	Plastic back fixture
12	900 N	Optional in push or pull	Required in pull	Only in push
9	1200 N	Optional in push or pull	Required in pull	Only in push
6	1500 N	Optional in push or pull	Required in pull	Only in push
5	1800 N	Optional in push (Safety nut 2500N not available in pull)	Always required	Not available
3	2500 N	Optional in push (Safety nut 2500N not available in pull)	Always required	Not available

Self-locking specifications

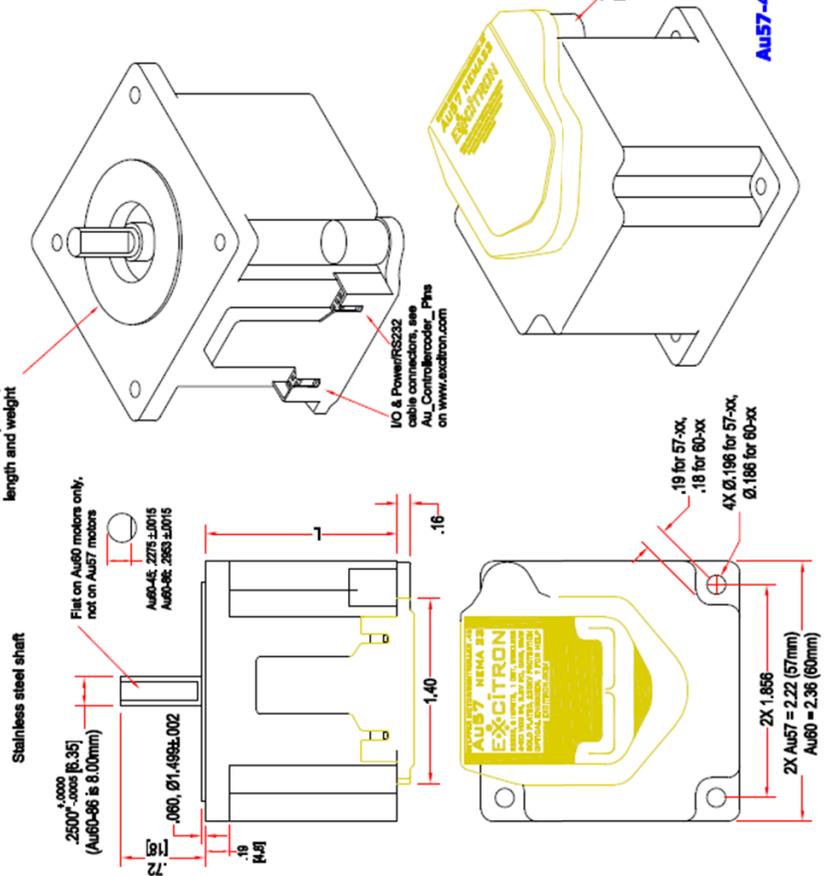
Maximum self-lock (N)	Without short circuit	With short circuit
12 mm pitch	750	900
9 mm pitch	750	1200
6 mm pitch	1200	1500
5 mm pitch	1600	1800
3 mm pitch	2500	2500

Ficha técnica de actuador y controlador del SM57-40 y de la caja AuG57:

New! GOLD Controller/motors

Each Controller is fully integrated with the stepper motor, producing the most compact and powerful intelligent motor drive available. Complete family can drive stepper motors from 15mm diameter to NEMA 42, and perfectly matches drive empage with the motor size. These units offer the first total 100% motor drive solution, allowing easy plug-in-play for machines, CNC, robots, actuators, vehicles, and all equipment.

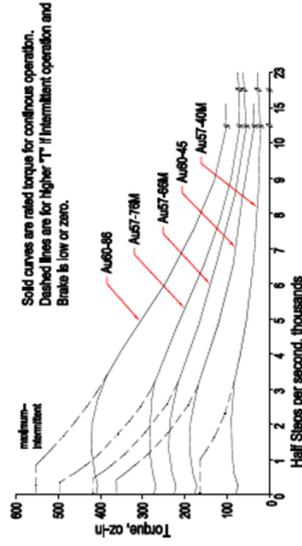
round boss only until current stock is depleted, this saves length and weight



Features common to all Au Gold Controller/motors

- Gold plated connectors, printed circuit boards, and covers for ultimate reliability, heat flow, and performance.
- Easily change direction, number of steps, speed, acceleration, and torque.
- On-board RS232 serial communication port.
- 6 input pins (2 analog), and 1 output pin for external standalone motion control, 130KV protection, 3.3 volt logic, ±5% tolerant. Easily change speed on-the-fly.
- Dual microcomputers with enough memory and speed for full automatic and robotic motion control. Multi-axis capability eliminates PLCs and PCs.
- CNC Driver mode using step and direction pins.
- Contains all the electronics required for complete motor control—nothing else needed except power supply, regulated 4 to 30 vdc.
- Temperature and voltage monitoring, thermal shut-down control.
- Extremely high efficiency, only uses 8mW, controller runs cool.
- Exact same connectors for all motor sizes gives total compatibility. Cables exit tightly against motor for superb cable management.
- Full backwards compatibility with previous Excitron Controllers.
- Optional 2.4ghz RF BLUePAN and unique Internet address for worldwide remote control, diagnostics, updates, and status.

All 57 series motors are industry standard NEMA 23, 0.45 deg/half-step, and are rated at 2-3 A/winding. All 60 series motors are industry standard NEMA 23, 0.90 deg/half-step, and are rated at 3 A/winding. The Au57 & Au60 series can handle 10 amps and results in lowest heat generated. The usual power supply empage is 6-2.0 amps at 24 vdc.



Motor/Controller	L ±.03	WL	Torque
Au57-40M	1.54"	1.1lb	84 in-oz
Au57-68M	2.66"	1.9	230
Au57-78M	3.06"	2.2	280
Au60-45	1.83"	1.4	140
Au60-86	3.44"	3.1	380

Au57-40M shown



info@excitron.com www.excitron.com

Ref: Au_Controllercodex_Manual_Au_Controllercodex_Ph1s

Faster Than Fast!

02/02/2013

Au57 & Au60 Controller/motors

Warning—motors can cause severe injury. Specifications subject to change without notice. Rev. B

Código de Mathematica para encontrar los esfuerzos en uniones de mecanismos:

Mecanismo de inclinación frontal.

Análisis Cinemático

Funciones

```
(*Matriz de Rotacion*)  
Rz[θ_]:={{Cos[θ],-Sin[θ],0},{Sin[θ],Cos[θ],0},{0,0,1}};  
Grafica[Tabla_,RGB_,x_,y_]:=  
ListPlot[Tabla,BaseStyle->{24,FontFamily->"Arial"},  
ImageSize->700,Joined->True,PlotStyle->{Thickness[0.01],RGB},Frame->True,FrameLabel->{x,y},GridLines->Automatic,PlotRange->All];
```

Datos

```
x0=0.154;  
y0=0.272;  
  
x1=0.120;  
x2=0.120+0.150;  
x3=0.200;  
y3=0.1175;
```

Ecuaciones Cinemáticas

```
Clear[xMF,θMF,θm];  
Clear[vxMF,ωMF,ωm];  
Clear[axMF,αMF,αm];  
(*Vectores de Posición*)  
rMF={xMF,0,0};  
r1={x1,0,0};  
r2={x2,0,0};  
r3={y3,x3,0};  
  
RMF=Rz[θMF].rMF;  
R1=Rz[θm].r1;  
R2=Rz[θm].r2;  
R3=Rz[θm].r3;  
  
R0x={x0,0,0};  
R0y={0,y0,0};  
  
(*Vectores de Velocidad*)  
OmegaMF={0,0,ωMF};  
Omegam={0,0,ωm};  
  
i0={1,0,0};  
uMF=Rz[θMF].i0;  
  
VMF=vxMF*uMF+OmegaMF*RMF;  
V1=Omegam*R1;  
V2=Omegam*R2;  
V3=Omegam*R3;  
V0x={0,0,0};  
V0y={0,0,0};  
  
(*Vectores de Aceleración*)  
AlfaMF={0,0,αMF};  
Alfam={0,0,αm};  
  
AMF=axMF*uMF+2*OmegaMF*(vxMF*uMF)+AlfaMF*RMF-ωMF^2*RMF;  
A1=Alfam*R1-ωm^2*R1;  
A2=Alfam*R2-ωm^2*R2;  
A3=Alfam*R3-ωm^2*R3;  
A0x={0,0,0};  
A0y={0,0,0};  
  
(*Ecuacion de Cinematicas*)  
Pos1=R0x+RMF+R3-R1-R0y;  
Vel1=V0x+VMF+V3-V1-V0y;  
Acel1=A0x+AMF+A3-A1-A0y;  
  
Pos1//MatrixForm
```

Solución de la Posición

Solución Inicial

```
Clear [xMF,  $\theta$ MF,  $\theta$ m];
Clear [vxMF,  $\omega$ MF,  $\omega$ m];
Clear [axMF,  $\alpha$ MF,  $\alpha$ m];

 $\theta$ m=60*Degree;
PosInicial=FindRoot[{

  Pos1[[1\[RightDoubleBracket]=0,

  Pos1[[2\[RightDoubleBracket]=0],

  { $\theta$ MF, 81*Degree},
  {xMF, 0.200},
  MaxIterations->15
}
]
 $\theta$ MF/Degree/.PosInicial
xMF/.PosInicial
```

Solución Total

```
Clear [xMF,  $\theta$ MF,  $\theta$ m];
Clear [vxMF,  $\omega$ MF,  $\omega$ m];
Clear [axMF,  $\alpha$ MF,  $\alpha$ m];

xMFi=xMF/.PosInicial; (*i=initial*)
 $\theta$ MFi= $\theta$ MF/.PosInicial;

For [i=60, i<=120, i+=1,
   $\theta$ m=i*Degree;

  SolPos[i]=FindRoot[{

    Pos1[[1\[RightDoubleBracket]=0,

    Pos1[[2\[RightDoubleBracket]=0],

    { $\theta$ MF,  $\theta$ MFi},
    {xMF, xMFi},
    MaxIterations->15];

   $\theta$ MFi= $\theta$ MF/.SolPos[i];
  xMFi=xMF/.SolPos[i];
  ]; (*Cierra For*)
SolPos[60]
```

Graficación de la Posición

```
Tabla1=Table[{i,  $\theta$ MF/Degree/.SolPos[i]}, {i, 60, 120, 1}];
Tabla2=Table[{i, xMF/.SolPos[i]}, {i, 60, 120, 1}];
(*Grafica[Tabla_, RGB_, x_, y_]*)
Fig1=Grafica[Tabla1, RGBColor[1, 0, 0], " $\theta$ m", " $\theta$ MF"]
Fig2=Grafica[Tabla2, RGBColor[0, 0.7, 0], " $\theta$ m", "xMF"]
```

Solución de la Velocidad

Solución Total

```
Clear [xMF,  $\theta$ MF,  $\theta$ m];
Clear [vxMF,  $\omega$ MF,  $\omega$ m];
Clear [axMF,  $\alpha$ MF,  $\alpha$ m];

vxMF=2.5/1000;

For [i=60, i<=120, i+=1,
   $\theta$ m=i*Degree;
  SolVel[i]=Solve[{
```

```

Vel1[[1\[RightDoubleBracket]==0,

Vel1[[2\[RightDoubleBracket]==0]/.SolPos[i],

{ωm, ωMF}]]//Flatten;
];
SolVel[60]

```

Solución de la Aceleración

Solución Total

```

Clear[xMF, θMF, θm];
Clear[vxMF, ωMF, ωm];
Clear[axMF, αMF, αm];

vxMF=2.5/1000;
axMF=0;

For[i=60, i≤120, i+=1,
  θm=i*Degree;

  SolAcel[i]=Solve[{

    Acel1[[1\[RightDoubleBracket]==0,

    Acel1[[2\[RightDoubleBracket]==0]/.SolPos[i]/.SolVel[i],

    {αm, αMF}]]//Flatten;
];
SolAcel[60]

```

Análisis Dinámico de Fuerzas

Ecuaciones Dinámicas

```

Length[{FOMFx, FOMFy, FMF3x, FMF3y, F01x, F01y}]
Clear[xMF, θMF, θm];
Clear[vxMF, ωMF, ωm];
Clear[axMF, αMF, αm];
Clear[FOMFx, FOMFy, FMF3x, FMF3y, F01x, F01y];

(*Masas e Inercias*)
mMF=6; (*kg*)
mm=87; (*kg*)
mp=113;

IGMF=15*10^-3;
IGm=5.5;
IGp=5.5;
g=9.81;

(*Vectores de Fuerzas y Momentos*)
FOMF={FOMFx, FOMFy, 0};
FMF3={FMF3x, FMF3y, 0};
F01={F01x, F01y, 0};

WMF={0, -mMF*g, 0};
Wm={0, -mm*g, 0};
Wp={0, -mp*g, 0};

(*Aceleraciones de Centros de Gravedad*)
xGMF=0.3*xMF;

rGMF={xGMF, 0, 0};
RGMF=R0x+Rz[θMF].rGMF;
RGm=R0y+R1;
RGp=R0y+R1+R2;

AGMF=axMF*uMF+2*OmegaMF*(vxMF*uMF)+A1faMF*RGMF-ωMF*RGMF;
AGm=A0y+A1;
AGp=AGm+A2;
AG0={0, 0, 0};

```

```
(*Vectores de Momentos*)
ROMF=-RGMF;
R3MF=RMF-RGMF;

RMFm=-R3;
Rpm=R2;
R0m=-R1;

(*Ecuaciones Dinámicas*)
FDMF=F0MF-FMF3+WMF-mMF*AGMF;
MDMF=R0MF*F0MF+R3MF*(-FMF3)-IGMF*AlfaMF ;

FDM=F01+FMF3+Wm+Wp-(Wm+Wp)*AGm;
MDm=R0m*F01+RMFm*FMF3+Rpm*Wp-(IGm+IGp)*Alfam ;

FuerzaLin=FLin-(Sqrt[(F0MFx^2)+(F0MFy^2)])*Sin[θMF];
(*Fuerza del motor en sentido de θMF*)

FDMF/.θm→60*Degree/.vxMF→2.5/1000/.axMF→0/.SolPos[60]/.SolVel[60]/.SolAcel[60]//MatrixForm
MDMF/.θm→60*Degree/.vxMF→2.5/1000/.axMF→0/.SolPos[60]/.SolVel[60]/.SolAcel[60]//MatrixForm
FDM/.θm→60*Degree/.vxMF→2.5/1000/.axMF→0/.SolPos[60]/.SolVel[60]/.SolAcel[60]//MatrixForm
MDm/.θm→60*Degree/.vxMF→2.5/1000/.axMF→0/.SolPos[60]/.SolVel[60]/.SolAcel[60]//MatrixForm
FuerzaLin/.θm→60*Degree/.vxMF→2.5/1000/.axMF→0/.SolPos[60]/.SolVel[60]/.SolAcel[60]//MatrixForm
```

Solución Total de la Dinámica

```
Clear[xMF,θMF,θm];
Clear[vxMF,ωMF,ωm];
Clear[axMF,αMF,αm];
Clear[F0MFx,F0MFy,FMF3x,FMF3y,F01x,F01y];

vxMF=2.5/1000;
axMF=0;

For[i=60,i≤120,i+=1,
  θm=i*Degree;
  SolDinamica[i]=Solve[{
    FDMF[[1]]=0,FDMF[[2]]=0,MDMF[[3]]=0,
    FDM[[1]]=0,FDM[[2]]=0,MDm[[3]]=0,
    FuerzaLin=0}/.
  SolPos[i]/.SolVel[i]/.SolAcel[i],
  {F0MFx,F0MFy,FMF3x,FMF3y,F01x,F01y,Mpz,FLin}]]//Flatten
];

SolDinamica[90]//MatrixForm
```

Graficación de Fuerzas y Momentos

```
TablaD1=Table[{i,F01x/.SolDinamica[i]},{i,60,120,1}];
TablaD2=Table[{i,F01y/.SolDinamica[i]},{i,60,120,1}];
TablaD3=Table[{i,FMF3x/.SolDinamica[i]},{i,60,120,1}];TablaD4=Table[{i,FMF3y/.SolDinamica[i]},{i,60,120,1}];
TablaD5=Table[{i,F0MFx/.SolDinamica[i]},{i,60,120,1}];
TablaD6=Table[{i,F0MFy/.SolDinamica[i]},{i,60,120,1}];
TablaD7=Table[{i,FLin/.SolDinamica[i]},{i,60,120,1}];

FigD1=Grafica[TablaD1,RGBColor[1,0,0],"θm","F01x"];
FigD2=Grafica[TablaD2,RGBColor[1,0,0],"θm","F01y"];
FigD3=Grafica[TablaD3,RGBColor[1,0,0],"θm","FMF3x"];
FigD4=Grafica[TablaD4,RGBColor[1,0,0],"θm","FMF3y"];
FigD5=Grafica[TablaD5,RGBColor[1,0,0],"θm","F0MFx"];
FigD6=Grafica[TablaD6,RGBColor[1,0,0],"θm","F0MFy"];
FigD7=Grafica[TablaD7,RGBColor[1,0,0],"θm","FLin"]
```

Mecanismo de inclinación lateral.

Análisis Cinemático

Funciones

```
(*Matriz de Rotacion*)

Rz[θ_]:={{Cos[θ],-Sin[θ],0},{Sin[θ],Cos[θ],0},{0,0,1}};
Grafica[Tabla,RGB_,x_,y_]:=
  ListPlot[Tabla,BaseStyle->{24,FontFamily->"Arial"},

ImageSize->700,Joined->True,PlotStyle->{Thickness[0.01],RGB},Frame->True,FrameLabel->{x,y},GridLines->Automatic,PlotRange->All];
```

Datos

```
x0=0.091;
y0=0.267;
x1=0.260;
```

```
x2=0.100+0.170;
x3=0.2197;
y3=0.253;
```

Ecuaciones Cinemáticas

```
Clear [xMF,θMF,θm];
Clear [vxMF,ωMF,ωm];
Clear [axMF,αMF,am];
(*Vectores de Posición*)
rMF={xMF,0,0};
r1={x1,0,0};
r2={x2,0,0};
r3={y3,-x3,0};

RMF=Rz [θMF] . rMF;
R1=Rz [θm] . r1;
R2=Rz [θm] . r2;
R3=Rz [θm] . r3;

R0x={-x0,0,0};
R0y={0,y0,0};

(*Vectores de Velocidad*)
OmegaMF={0,0,ωMF};
Omeгам={0,0,ωm};

i0={1,0,0};
uMF=Rz [θMF] . i0;

VMF=vxMF*uMF+OmegaMF*RMF;
V1=Omeгам*R1;
V2=Omeгам*R2;
V3=Omeгам*R3;
V0x={0,0,0};
V0y={0,0,0};

(*Vectores de Aceleración*)
AlfaMF={0,0,αMF};
Alfam={0,0,am};

AMF=axMF*uMF+2*OmegaMF*(vxMF*uMF)+AlfaMF*RMF-ωMF^2*RMF;
A1=Alfam*R1-ωm^2*R1;
A2=Alfam*R2-ωm^2*R2;
A3=Alfam*R3-ωm^2*R3;
A0x={0,0,0};
A0y={0,0,0};

(*Ecuacion de Cinematicas*)
Pos1=R0x+RMF+R3-R1-R0y;
Vel1=V0x+VMF+V3-V1-V0y;
Acel1=A0x+AMF+A3-A1-A0y;
```

Pos1//MatrixForm

Solución de la Posición

Solución Inicial

```
Clear [xMF,θMF,θm];
Clear [vxMF,ωMF,ωm];
Clear [axMF,αMF,am];

θm=60*Degree;
PosInicial=FindRoot[{

Pos1[[1\[RightDoubleBracket]=0,

Pos1[[2\[RightDoubleBracket]=0},

{θMF,120*Degree},
{xMF,0.300},
MaxIterations→15
]
θMF/Degree/.PosInicial
xMF/.PosInicial
```

Solución Total

```
Clear [xMF,  $\theta$ MF,  $\theta$ m];
Clear [vxMF,  $\omega$ MF,  $\omega$ m];
Clear [axMF,  $\alpha$ MF,  $\alpha$ m];

xMFi=xMF/.PosInicial; (*i=inicial*)
 $\theta$ MFi= $\theta$ MF/.PosInicial;

For [i=60, i<=120, i+=1,
   $\theta$ m=i*Degree;

  SolPos [i]=FindRoot[{

    Pos1[[1\[RightDoubleBracket]=0,

    Pos1[[2\[RightDoubleBracket]=0],

    { $\theta$ MF,  $\theta$ MFi},
    {xMF, xMFi},
    MaxIterations->15];

   $\theta$ MFi= $\theta$ MF/.SolPos [i];
  xMFi=xMF/.SolPos [i];
  ]; (*Cierra For*)
SolPos [60]

{ $\theta$ MF->1.81587, xMF->0.394706}
```

Graficación de la Posición

```
Tabla1=Table[{i,  $\theta$ MF/Degree/.SolPos [i]}, {i, 60, 120, 1}];
Tabla2=Table[{i, xMF/.SolPos [i]}, {i, 60, 120, 1}];
(*Grafica [Tabla_, RGB_, x_, y_]*)
Fig1=Grafica [Tabla1, RGBColor [1, 0, 0], " $\theta$ m", " $\theta$ MF"]
Fig2=Grafica [Tabla2, RGBColor [0, 0.7, 0], " $\theta$ m", "xMF"]
```

Solución de la Velocidad

Solución Total

```
Clear [xMF,  $\theta$ MF,  $\theta$ m];
Clear [vxMF,  $\omega$ MF,  $\omega$ m];
Clear [axMF,  $\alpha$ MF,  $\alpha$ m];

vxMF=2.5/1000;

For [i=60, i<=120, i+=1,
   $\theta$ m=i*Degree;
  SolVel [i]=Solve[{

    Vel1[[1\[RightDoubleBracket]=0,

    Vel1[[2\[RightDoubleBracket]=0]/.SolPos [i],

    { $\omega$ m,  $\omega$ MF}]]//Flatten;
  ];
SolVel [60]
```

Solución de la Aceleración

Solución Total

```
Clear [xMF,  $\theta$ MF,  $\theta$ m];
Clear [vxMF,  $\omega$ MF,  $\omega$ m];
Clear [axMF,  $\alpha$ MF,  $\alpha$ m];

vxMF=2.5/1000;
axMF=0;

For [i=60, i<=120, i+=1,
   $\theta$ m=i*Degree;

  SolAcel [i]=Solve[{
```

```

Acel1[[1\[RightDoubleBracket]=0,

Acel1[[2\[RightDoubleBracket]=0]/.SolPos[i]/.SolVel[i],

{am,amf}]/Flatten;
];
SolAcel[60]
{am→-0.000165064,amf→-0.0000867288}

```

Análisis Dinámico de Fuerzas

Ecuaciones Dinámicas

```

Length[{F0MFx,F0MFy,FMF3x,FMF3y,F01x,F01y}]
6
Clear[xMF,θMF,θm];
Clear[vxMF,ωMF,ωm];
Clear[axMF,αMF,am];
Clear[F0MFx,F0MFy,FMF3x,FMF3y,F01x,F01y];

(*Masas e Inercias*)
mMF=6;(*kg*)
mm=87;(*kg*)
mp=113;

IGMF=15*10^-3;
IGm=27.5;
IGp=27.5;
g=9.81;

(*Vectores de Fuerzas y Momentos*)
F0MF={F0MFx,F0MFy,0};
FMF3={FMF3x,FMF3y,0};
F01={F01x,F01y,0};

WMF={0,-mMF*g,0};
Wm={0,-mm*g,0};
Wp={0,-mp*g,0};

(*Aceleraciones de Centros de Gravedad*)
xGMF=0.3*xMF;

rGMF={xGMF,0,0};
RGMF=R0x+Rz[θMF].rGMF;
Rgm=R0y+R1;
Rgp=R0y+R1+R2;

AGMF=axMF*uMF+2*OmegaMF*(vxMF*uMF)+AlfaMF*RGMF-ωMF*RGMF;
AGm=A0y+A1;
AGp=AGm+A2;
AG0={0,0,0};

(*Vectores de Momentos*)
R0MF=-RGMF;
R3MF=RMF-RGMF;

RMFm=-R3;
Rpm=R2;
R0m=-R1;

(*Ecuaciones Dinámicas*)
FDMF=F0MF-FMF3+WMF-mMF*AGMF;
MDMF=R0MF*F0MF+R3MF*(-FMF3)-IGMF*AlfaMF;

FDm=F01+FMF3+Wm+Wp-(Wm+Wp)*AGm;
MDm=R0m*F01+RMFm*FMF3+Rpm*Wp-(IGm+IGp)*AlfaMF;

FuerzaLin=FLin-(Sqrt[(F0MFx^2)+(F0MFy^2)])*Sin[θMF];
(*Fuerza del motor en sentido de θMF*)

FDMF/.θm→60*Degree/.vxMF→2.5/1000/.axMF→0/.SolPos[60]/.SolVel[60]/.SolAcel[60]//MatrixForm
MDMF/.θm→60*Degree/.vxMF→2.5/1000/.axMF→0/.SolPos[60]/.SolVel[60]/.SolAcel[60]//MatrixForm
FDm/.θm→60*Degree/.vxMF→2.5/1000/.axMF→0/.SolPos[60]/.SolVel[60]/.SolAcel[60]//MatrixForm
MDm/.θm→60*Degree/.vxMF→2.5/1000/.axMF→0/.SolPos[60]/.SolVel[60]/.SolAcel[60]//MatrixForm
FuerzaLin/.θm→60*Degree/.vxMF→2.5/1000/.axMF→0/.SolPos[60]/.SolVel[60]/.SolAcel[60]//MatrixForm

```

Solución Total de la Dinámica

```

Clear[xMF,θMF,θm];
Clear[vxMF,ωMF,ωm];

```

```

Clear[axMF, omF, om];
Clear[FOMFx, FOMFy, FMF3x, FMF3y, F01x, F01y];

vxMF=2.5/1000;
axMF=0;

For[i=60, i<=120, i+=1,
  om=i*Degree;
  SolDinamica[i]=Solve[
    FDMF[[1]]==0, FDMF[[2]]==0, MDMF[[3]]==0,
    FDM[[1]]==0, FDM[[2]]==0, MDm[[3]]==0,
    FuerzaLin==0]/.
    SolPos[i]/.SolVel[i]/.SolAcel[i],
    {FOMFx, FOMFy, FMF3x, FMF3y, F01x, F01y, Mpz, FLin}]/Flatten
  ];

```

SolDinamica[60]//MatrixForm

Graficación de Fuerzas y Momentos

```

TablaD1=Table[{i, F01x/.SolDinamica[i]}, {i, 60, 120, 1}];
TablaD2=Table[{i, F01y/.SolDinamica[i]}, {i, 60, 120, 1}];
TablaD3=Table[{i, FMF3x/.SolDinamica[i]}, {i, 60, 120, 1}]; TablaD4=Table[{i, FMF3y/.SolDinamica[i]}, {i, 60, 120, 1}];
TablaD5=Table[{i, FOMFx/.SolDinamica[i]}, {i, 60, 120, 1}];
TablaD6=Table[{i, FOMFy/.SolDinamica[i]}, {i, 60, 120, 1}];
TablaD7=Table[{i, FLin/.SolDinamica[i]}, {i, 60, 120, 1}];

FigD1=Grafica[TablaD1, RGBColor[1, 0, 0], "om", "F01x"];
FigD2=Grafica[TablaD2, RGBColor[1, 0, 0], "om", "F01y"];
FigD3=Grafica[TablaD3, RGBColor[1, 0, 0], "om", "FMF3x"];
FigD4=Grafica[TablaD4, RGBColor[1, 0, 0], "om", "FMF3y"];
FigD5=Grafica[TablaD5, RGBColor[1, 0, 0], "om", "FOMFx"];
FigD6=Grafica[TablaD6, RGBColor[1, 0, 0], "om", "FOMFy"];
FigD7=Grafica[TablaD7, RGBColor[1, 0, 0], "om", "FLin"];

```

Mecanismo de inclinación de piernas.

Análisis Cinemático

Funciones

(*Matriz de Rotacion*)

Rz[θ]:={Cos[θ], -Sin[θ], 0}, {Sin[θ], Cos[θ], 0}, {0, 0, 1};

Grafica[Tabla, RGB, x, y]:=
ListPlot[Tabla, BaseStyle->{24, FontFamily->"Arial"},

ImageSize->700, Joined->True, PlotStyle->{Thickness[0.01], RGB}, Frame->True, FrameLabel->{x, y}, GridLines->Automatic, PlotRange->All];

Datos

x0=0.2465;
y0=0.0825;

x1=0.470;
x2=0.0745+0.100;

x3=0.4465;
y3=0.1225;

Ecuaciones Cinemáticas

```

Clear[xMF, omF, om];
Clear[vxMF, omF, om];
Clear[axMF, omF, om];
(*Vectores de Posición*)
rMF={xMF, 0, 0};
r1={0, x1, 0};
r2={x2, 0, 0};
r3={y3, x3, 0};

```

```

RMF=Rz[omF].rMF;
R1=Rz[om].r1;
R2=Rz[om].r2;
R3=Rz[om].r3;

```

```

R0x={-x0, 0, 0};
R0y={0, -y0, 0};

```

```

(*Vectores de Velocidad*)
OmegaMF={0, 0, omF};
Omegaom={0, 0, om};

```

```

i0={1,0,0};
uMF=Rz[θMF].i0;

VMF=vxMF*uMF+OmegaMF*RMF;
V1=Omegam*R1;
V2=Omegam*R2;
V3=Omegam*R3;
V0x={0,0,0};
V0y={0,0,0};

(*Vectores de Aceleración*)
AlfaMF={0,0,αMF};
Alfam={0,0,αm};

AMF=axMF*uMF+2*OmegaMF*(vxMF*uMF)+AlfaMF*RMF-ωMF^2*RMF;
A1=Alfam*R1-ωm^2*R1;
A2=Alfam*R2-ωm^2*R2;
A3=Alfam*R3-ωm^2*R3;
A0x={0,0,0};
A0y={0,0,0};

(*Ecuacion de Cinematicas*)
Pos1=R0y+RMF+R3-R1-R0x;
Vel1=V0y+VMF+V3-V1-V0x;
Acel1=A0y+AMF+A3-A1-A0x;

```

Pos1//MatrixForm

Solución de la Posición

Solución Inicial

```

Clear[xMF,θMF,θm];
Clear[vxMF,ωMF,ωm];
Clear[axMF,αMF,αm];

```

```

θm=10*Degree;
PosInicial=FindRoot[{

```

```

  Pos1[[1\[RightDoubleBracket]=0,

```

```

  Pos1[[2\[RightDoubleBracket]=0},

```

```

  {θMF,180*Degree},
  {xMF,0.300},
  MaxIterations→15
]

```

```

θMF/Degree/.PosInicial
xMF/.PosInicial

```

Solución Total

```

Clear[xMF,θMF,θm];
Clear[vxMF,ωMF,ωm];
Clear[axMF,αMF,αm];

```

```

xMFi=xMF/.PosInicial;(*i=inicial*)
θMFi=θMF/.PosInicial;

```

```

For[i=10,i≤145,i+=1,
  θm=i*Degree;

```

```

  SolPos[i]=FindRoot[{

```

```

    Pos1[[1\[RightDoubleBracket]=0,

```

```

    Pos1[[2\[RightDoubleBracket]=0},

```

```

    {θMF,θMFi},
    {xMF,xMFi},
    MaxIterations→15];

```

```

 $\theta_{MF} = \theta_{MF} / .SolPos[i];$ 
 $x_{MF} = x_{MF} / .SolPos[i];$ 
]; (*Cierra For*)

```

```

 $\theta_{MF} / Degree / .SolPos[145]$ 
 $x_{MF} / .SolPos[145]$ 

```

Graficación de la Posición

```

Tabla1=Table[{i,  $\theta_{MF} / Degree / .SolPos[i]$ }, {i, 10, 145, 1}];
Tabla2=Table[{i,  $x_{MF} / .SolPos[i]$ }, {i, 10, 145, 1}];
(*Grafica[Tabla, RGB, x, y]*)
Fig1=Grafica[Tabla1, RGBColor[1, 0, 0], " $\theta_m$ ", " $\theta_{MF}$ "]
Fig2=Grafica[Tabla2, RGBColor[0, 0.7, 0], " $\theta_m$ ", " $x_{MF}$ "]

```

Solución de la Velocidad

Solución Total

```

Clear[x $_{MF}$ ,  $\theta_{MF}$ ,  $\theta_m$ ];
Clear[vx $_{MF}$ ,  $\omega_{MF}$ ,  $\omega_m$ ];
Clear[ax $_{MF}$ ,  $\alpha_{MF}$ ,  $\alpha_m$ ];

```

```
v $_{xMF}$ =2.5/1000;
```

```

For[i=10, i<=145, i+=1,
 $\theta_m = i * Degree;$ 
SolVel[i]=Solve[{

```

```
Vel1[[1][RightDoubleBracket]==0,
```

```
Vel1[[2][RightDoubleBracket]==0]/.SolPos[i],
```

```
{ $\omega_m$ ,  $\omega_{MF}$ }//Flatten;
```

```

];
SolVel[60]

```

Solución de la Aceleración

Solución Total

```

Clear[x $_{MF}$ ,  $\theta_{MF}$ ,  $\theta_m$ ];
Clear[vx $_{MF}$ ,  $\omega_{MF}$ ,  $\omega_m$ ];
Clear[ax $_{MF}$ ,  $\alpha_{MF}$ ,  $\alpha_m$ ];

```

```
v $_{xMF}$ =2.5/1000;
a $_{xMF}$ =0;
```

```

For[i=10, i<=145, i+=1,
 $\theta_m = i * Degree;$ 

```

```
SolAcel[i]=Solve[{
```

```
Acel1[[1][RightDoubleBracket]==0,
```

```
Acel1[[2][RightDoubleBracket]==0]/.SolPos[i]/.SolVel[i],
```

```
{ $\alpha_m$ ,  $\alpha_{MF}$ }//Flatten;
```

```

];
SolAcel[60]

```

Análisis Dinámico de Fuerzas

Ecuaciones Dinámicas

```

Length[{F0MFx, F0MFy, FMF3x, FMF3y, F01x, F01y}]
6
Clear[x $_{MF}$ ,  $\theta_{MF}$ ,  $\theta_m$ ];
Clear[vx $_{MF}$ ,  $\omega_{MF}$ ,  $\omega_m$ ];
Clear[ax $_{MF}$ ,  $\alpha_{MF}$ ,  $\alpha_m$ ];
Clear[F0MFx, F0MFy, FMF3x, FMF3y, F01x, F01y];

```

```

(*Masas e Inercias*)
m $_{MF}$ =6; (*kg*)
m $_{m}$ =87*0.43/2; (*kg*)
m $_{p}$ =113*0.43/2;

```

```

IGMF=15*10^-3;
IGm=27.5*0.43;
IGp=27.5*0.43;
g=9.81;

(*Vectores de Fuerzas y Momentos*)
FOMF={FOMFx,FOMFy,0};
FMF3={FMF3x,FMF3y,0};
F01={F01x,F01y,0};

WMF={0,-mMF*g,0};
Wm={0,-mm*g,0};
Wp={0,-mp*g,0};

(*Aceleraciones de Centros de Gravedad*)
xGMF=0.3*xMF;

rGMF={xGMF,0,0};
RCMF=R0y+Rz[θMF].rGMF;
RGm=R0x+R1;
RGp=R0x+R1+R2;

AGMF=axMF*uMF+2*OmegaMF*(vxMF*uMF)+AlfaMF*RCMF-ωMF*RCMF;
AGm=A0y+A1;
AGp=AGm+A2;
AG0={0,0,0};

(*Vectores de Momentos*)
ROMF=-RCMF;
R3MF=RMF-RGMF;

RMFm=-R3;
Rpm=R2;
R0m=-R1;

(*Ecuaciones Dinámicas*)
FDMF=FOMF-FMF3+WMF-mMF*AGMF;
MDMF=ROMF*FOMF+R3MF*(-FMF3)-IGMF*AlfaMF;

FDm=F01+FMF3+Wm+Wp-(Wm+Wp)*AGm;
MDm=R0m*F01+RMFm*FMF3+Rpm*Wp-(IGm+IGp)*AlfaM;

FuerzaLin=FLin-(Sqrt[(FOMFx^2)+(FOMFy^2)])*Cos[θMF];
(*Fuerza del motor en sentido de θMF*)

FDMF/.θm→60*Degree/.vxMF→2.5/1000/.axMF→0/.SolPos[60]/.SolVel[60]/.SolAcel[60]//MatrixForm
MDMF/.θm→60*Degree/.vxMF→2.5/1000/.axMF→0/.SolPos[60]/.SolVel[60]/.SolAcel[60]//MatrixForm
FDm/.θm→60*Degree/.vxMF→2.5/1000/.axMF→0/.SolPos[60]/.SolVel[60]/.SolAcel[60]//MatrixForm
MDm/.θm→60*Degree/.vxMF→2.5/1000/.axMF→0/.SolPos[60]/.SolVel[60]/.SolAcel[60]//MatrixForm
FuerzaLin/.θm→60*Degree/.vxMF→2.5/1000/.axMF→0/.SolPos[60]/.SolVel[60]/.SolAcel[60]//MatrixForm

```

Solución Total de la Dinámica

```

Clear[xMF,θMF,θm];
Clear[vxMF,ωMF,ωm];
Clear[axMF,αMF,αm];
Clear[FOMFx,FOMFy,FMF3x,FMF3y,F01x,F01y];

vxMF=2.5/1000;
axMF=0;

For[i=10,i≤145,i+=1,
  θm=i*Degree;
  SolDinamica[i]=Solve[{
    FDMF[[1]]=0,FDMF[[2]]=0,MDMF[[3]]=0,
    FDm[[1]]=0,FDm[[2]]=0,MDm[[3]]=0,
    FuerzaLin=0}/.
    SolPos[i]/.SolVel[i]/.SolAcel[i],
    {FOMFx,FOMFy,FMF3x,FMF3y,F01x,F01y,Mpz,FLin}]]//Flatten
];

```

SolDinamica[10]//MatrixForm

Graficación de Fuerzas y Momentos

```

TablaD1=Table[{i,F01x/.SolDinamica[i]},{i,10,145,1}];
TablaD2=Table[{i,F01y/.SolDinamica[i]},{i,10,145,1}];
TablaD3=Table[{i,FMF3x/.SolDinamica[i]},{i,10,145,1}];
TablaD4=Table[{i,FMF3y/.SolDinamica[i]},{i,10,145,1}];
TablaD5=Table[{i,FOMFx/.SolDinamica[i]},{i,10,145,1}];
TablaD6=Table[{i,FOMFy/.SolDinamica[i]},{i,10,145,1}];
TablaD7=Table[{i,FLin/.SolDinamica[i]},{i,10,145,1}];

FigD1=Grafica[TablaD1,RGBColor[1,0,0],"θm","F01x"];
FigD2=Grafica[TablaD2,RGBColor[1,0,0],"θm","F01y"];
FigD3=Grafica[TablaD3,RGBColor[1,0,0],"θm","FMF3x"];
FigD4=Grafica[TablaD4,RGBColor[1,0,0],"θm","FMF3y"];

```

```
FigD5=Grafica[TablaD5,RGBColor[1,0,0],"θm","FOMFx"]
FigD6=Grafica[TablaD6,RGBColor[1,0,0],"θm","FOMFy"]
FigD7=Grafica[TablaD7,RGBColor[1,0,0],"θm","FLin"]
```

Mecanismo de inclinación de espalda.

Análisis Cinemático

Funciones

```
(*Matriz de Rotacion*)
Rz[θ_]:={{Cos[θ],-Sin[θ],0},{Sin[θ],Cos[θ],0},{0,0,1}};
Grafica[Tabla_,RGB_,x_,y_]:=
  ListPlot[Tabla,BaseStyle->{24,FontFamily->"Arial"},
ImageSize->700,Joined->True,PlotStyle->{Thickness[0.01],RGB},Frame->True,FrameLabel->{x,y},GridLines->Automatic,PlotRange->All];
```

Datos

```
x0=0.2465;
y0=0.0825;

x1=0.349;
x2=0.0745+0.150;

x3=0.3165;
y3=0.1225;
```

Ecuaciones Cinemáticas

```
Clear[xMF,θMF,θm];
Clear[vxMF,ωMF,ωm];
Clear[axMF,αMF,αm];
(*Vectores de Posición*)
rMF={xMF,0,0};
r1={0,x1,0};
r2={x2,0,0};
r3={y3,x3,0};

RMF=Rz[θMF].rMF;
R1=Rz[θm].r1;
R2=Rz[θm].r2;
R3=Rz[θm].r3;

R0x={-x0,0,0};
R0y={0,-y0,0};

(*Vectores de Velocidad*)
OmegaMF={0,0,ωMF};
Omegam={0,0,ωm};

i0={1,0,0};
uMF=Rz[θMF].i0;

VMF=vxMF*uMF+OmegaMF×RMF;
V1=Omegam×R1;
V2=Omegam×R2;
V3=Omegam×R3;
V0x={0,0,0};
V0y={0,0,0};

(*Vectores de Aceleración*)
AlfaMF={0,0,αMF};
Alfam={0,0,αm};

AMF=axMF*uMF+2*OmegaMF×(vxMF*uMF)+AlfaMF×RMF-ωMF^2*RMF;
A1=Alfam×R1-ωm^2*R1;
A2=Alfam×R2-ωm^2*R2;
A3=Alfam×R3-ωm^2*R3;
A0x={0,0,0};
A0y={0,0,0};

(*Ecuacion de Cinematicas*)
Pos1=R0y+RMF+R3-R1-R0x;
Vel1=V0y+VMF+V3-V1-V0x;
Acel1=A0y+AMF+A3-A1-A0x;
```

```
Pos1//MatrixForm
```

Solución de la Posición

Solución Inicial

```
Clear[xMF,  $\theta$ MF,  $\theta$ m];
Clear[vxMF,  $\omega$ MF,  $\omega$ m];
Clear[axMF,  $\alpha$ MF,  $\alpha$ m];
```

```
 $\theta$ m=10*Degree;
PosInicial=FindRoot[{
```

```
Pos1[[1\[RightDoubleBracket]=0,
```

```
Pos1[[2\[RightDoubleBracket]=0],
```

```
{ $\theta$ MF, 180*Degree},
{xMF, 0.300},
MaxIterations $\rightarrow$ 15
]
```

```
 $\theta$ MF/Degree/.PosInicial
xMF/.PosInicial
```

Solución Total

```
Clear[xMF,  $\theta$ MF,  $\theta$ m];
Clear[vxMF,  $\omega$ MF,  $\omega$ m];
Clear[axMF,  $\alpha$ MF,  $\alpha$ m];
```

```
xMFi=xMF/.PosInicial; (*i=initial*)
 $\theta$ MFi= $\theta$ MF/.PosInicial;
```

```
For[i=10, i $\leq$ 145, i+=1,
 $\theta$ m=i*Degree;
```

```
SolPos[i]=FindRoot[{
```

```
Pos1[[1\[RightDoubleBracket]=0,
```

```
Pos1[[2\[RightDoubleBracket]=0],
```

```
{ $\theta$ MF,  $\theta$ MFi},
{xMF, xMFi},
MaxIterations $\rightarrow$ 15];
```

```
 $\theta$ MFi= $\theta$ MF/.SolPos[i];
xMFi=xMF/.SolPos[i];
]; (*Cierra For*)
```

```
 $\theta$ MF/Degree/.SolPos[90]
xMF/.SolPos[90]
```

Graficación de la Posición

```
Tabla1=Table[{i,  $\theta$ MF/Degree/.SolPos[i]}, {i, 10, 145, 1}];
Tabla2=Table[{i, xMF/.SolPos[i]}, {i, 10, 145, 1}];
(*Grafica[Tabla, RGB, x, y]*)
Fig1=Grafica[Tabla1, RGBColor[1, 0, 0], " $\theta$ m", " $\theta$ MF"]
Fig2=Grafica[Tabla2, RGBColor[0, 0.7, 0], " $\theta$ m", "xMF"]
```

Solución de la Velocidad

Solución Total

```
Clear[xMF,  $\theta$ MF,  $\theta$ m];
Clear[vxMF,  $\omega$ MF,  $\omega$ m];
Clear[axMF,  $\alpha$ MF,  $\alpha$ m];
```

```
vxMF=2.5/1000;
```

```
For[i=10, i $\leq$ 145, i+=1,
 $\theta$ m=i*Degree;
```

```
SolVel[i]=Solve[{
```

```

Vel1[[1\[RightDoubleBracket]==0,

Vel1[[2\[RightDoubleBracket]==0]/.SolPos[i],

{ωm, ωMF}]]//Flatten;
];
SolVel[60]

```

Solución de la Aceleración

Solución Total

```

Clear[xMF, θMF, θm];
Clear[vxMF, ωMF, ωm];
Clear[axMF, αMF, αm];

vxMF=2.5/1000;
axMF=0;

For[i=10, i≤145, i+=1,
  θm=i*Degree;

  SolAcel[i]=Solve[{

    Acel1[[1\[RightDoubleBracket]==0,

    Acel1[[2\[RightDoubleBracket]==0]/.SolPos[i]/.SolVel[i],

    {αm, αMF}]]//Flatten;
];
SolAcel[60]

```

Análisis Dinámico de Fuerzas

Ecuaciones Dinámicas

```

Length[{FOMFx, FOMFy, FMF3x, FMF3y, F01x, F01y}]
6
Clear[xMF, θMF, θm];
Clear[vxMF, ωMF, ωm];
Clear[axMF, αMF, αm];
Clear[FOMFx, FOMFy, FMF3x, FMF3y, F01x, F01y];

(*Masas e Inercias*)
mMF=6; (*kg*)
mm=87*0.29/2; (*kg*)
mp=113*0.29/2;

IGMF=15*10^-3;
IGm=27.5*0.29;
IGp=27.5*0.29;
g=9.81;

(*Vectores de Fuerzas y Momentos*)
FOMF={FOMFx, FOMFy, 0};
FMF3={FMF3x, FMF3y, 0};
F01={F01x, F01y, 0};

WMF={0, -mMF*g, 0};
Wm={0, -mm*g, 0};
Wp={0, -mp*g, 0};

(*Aceleraciones de Centros de Gravedad*)
xGMF=0.3*xMF;

rGMF={xGMF, 0, 0};
RGMF=R0y+Rz[θMF].rGMF;
RGm=R0x+R1;
RGp=R0x+R1+R2;

AGMF=axMF*uMF+2*OmegaMF*(vxMF*uMF)+AlfaMF*RGMF-ωMF*RGMF;
AGm=A0y+A1;
AGp=A0x+A2;
AG0={0, 0, 0};

```

```

(*Vectores de Momentos*)
R0MF=-RGMF;
R3MF=RMF-RGMF;

RMFm=-R3;
Rpm=R2;
R0m=-R1;

(*Ecuaciones Dinámicas*)
FDMF=F0MF-FMF3+WMF-mMF*AGMF;
MDMF=R0MF×F0MF+R3MF×(-FMF3)-IGMF*AlfaMF ;

FDm=F01+FMF3+Wm+Wp-(Wm+Wp)*AGm;
MDm=R0m×F01+RMFm×FMF3+Rpm×Wp-(IGm+IGp)*Alfam ;

FuerzaLin=FLin-(Sqrt[(F0MFx^2)+(F0MFy^2)])*Cos[θMF];
(*Fuerza del motor en sentido de θMF*)

FDMF/.θm→60*Degree/.vxMF→2.5/1000/.axMF→0/.SolPos[60]/.SolVel[60]/.SolAcel[60]//MatrixForm
MDMF/.θm→60*Degree/.vxMF→2.5/1000/.axMF→0/.SolPos[60]/.SolVel[60]/.SolAcel[60]//MatrixForm
FDm/.θm→60*Degree/.vxMF→2.5/1000/.axMF→0/.SolPos[60]/.SolVel[60]/.SolAcel[60]//MatrixForm
MDm/.θm→60*Degree/.vxMF→2.5/1000/.axMF→0/.SolPos[60]/.SolVel[60]/.SolAcel[60]//MatrixForm
FuerzaLin/.θm→60*Degree/.vxMF→2.5/1000/.axMF→0/.SolPos[60]/.SolVel[60]/.SolAcel[60]//MatrixForm

```

Solución Total de la Dinámica

```

Clear[xMF,θMF,θm];
Clear[vxMF,ωMF,ωm];
Clear[axMF,αMF,αm];
Clear[F0MFx,F0MFy,FMF3x,FMF3y,F01x,F01y];

vxMF=2.5/1000;
axMF=0;

For[i=10,i≤145,i+=1,
  θm=i*Degree;
  SolDinamica[i]=Solve[{
    FDMF[[1]]==0,FDMF[[2]]==0,MDMF[[3]]==0,
    FDm[[1]]==0,FDm[[2]]==0,MDm[[3]]==0,
    FuerzaLin==0}/.
    SolPos[i]/.SolVel[i]/.SolAcel[i],
    {F0MFx,F0MFy,FMF3x,FMF3y,F01x,F01y,Mpz,FLin}]]//Flatten
  ];

SolDinamica[10]//MatrixForm

```

Graficación de Fuerzas y Momentos

```

TablaD1=Table[{i,F01x/.SolDinamica[i]},{i,10,145,1}];
TablaD2=Table[{i,F01y/.SolDinamica[i]},{i,10,145,1}];
TablaD3=Table[{i,FMF3x/.SolDinamica[i]},{i,10,145,1}];
TablaD4=Table[{i,FMF3y/.SolDinamica[i]},{i,10,145,1}];
TablaD5=Table[{i,F0MFx/.SolDinamica[i]},{i,10,145,1}];
TablaD6=Table[{i,F0MFy/.SolDinamica[i]},{i,10,145,1}];
TablaD7=Table[{i,FLin/.SolDinamica[i]},{i,10,145,1}];

FigD1=Grafica[TablaD1,RGBColor[1,0,0],"θm","F01x"]
FigD2=Grafica[TablaD2,RGBColor[1,0,0],"θm","F01y"]
FigD3=Grafica[TablaD3,RGBColor[1,0,0],"θm","FMF3x"]
FigD4=Grafica[TablaD4,RGBColor[1,0,0],"θm","FMF3y"]
FigD5=Grafica[TablaD5,RGBColor[1,0,0],"θm","F0MFx"]
FigD6=Grafica[TablaD6,RGBColor[1,0,0],"θm","F0MFy"]
FigD7=Grafica[TablaD7,RGBColor[1,0,0],"θm","FLin"]

```

Y colorín colorado... esta tesis se ha acabado.